

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECATRÓNICA



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
INMERSIÓN TEMPORAL AUTOMATIZADO PARA
CULTIVOS DE ARÁNDANO Y PIÑA EN LOS
LABORATORIOS DE NUTRIARANDANOS S.A.C.

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTADA POR

Bach. CORVACHO CÁRDENAS, WALTER MARCELO

Asesor: Ing. RIVAS LEÓN JAVIER

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

Dedico este mi trabajo, a quienes me han apoyado y alentado para ser el mejor en cualquier cosa que decida emprender. Las personas más importantes de mi vida, mi increíble familia. Nunca dejaré de aprender de ustedes Walter, Queca, Marifé, Paula, Ignacio y Majo.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a mis padres por haberse esforzado tanto por sacarnos adelante a mí y a mis hermanas.

Mi más cordial reconocimiento y agradecimiento a todos y cada uno de los ingenieros de la facultad, porque de alguna manera supieron brindarme su gama de experiencia profesional.

Mi más cordial reconocimiento y agradecimiento a todos y cada uno de mis compañeros de la facultad, porque de alguna manera supieron brindarme su apoyo en mis estudios y trabajos en equipo.

Mi agradecimiento al asesor de tesis, por su colaboración y orientación en la realización del presente trabajo de investigación, ya que supo guiarme de la mejor manera con su repertorio amplio de conocimientos.

Mi agradecimiento a mi revisora de tesis, por su colaboración y orientación en la corrección del presente trabajo de investigación.

Mi agradecimiento con el personal del laboratorio Nutriarandanos s.a.c. por permitirme ingresar en sus instalaciones para poder realizar este proyecto.

Mi agradecimiento a Gonzalo Pimentel por involucrarse en el proyecto y apoyarme durante la implementación del mismo.

Mi más cordial reconocimiento y agradecimiento a Jose Fernandez, gran guía profesional y apoyo hacia mi persona para sacar adelante este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.1. Problematización	7
1.1.1. Problema general	8
1.1.2. Problemas específicos.....	8
1.2. Objetivos	8
1.2.1. Objetivo general	8
1.2.2. Objetivos específicos	8
1.3. Justificación.....	9
1.4. Alcances y Limitaciones de la Investigación	9
1.5. Estructura de la Tesis.....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1. Antecedentes de la Investigación	13
2.2. Ópticas de la Investigación	21
2.2.1. Hipótesis General	21
2.2.2. Hipótesis Específica.....	21
2.3. Selección de Variables.....	21
2.4. Bases Teóricas.....	22
2.4.1. Sistema de inmersión temporal (SIT).....	23
2.4.2. El medio de cultivo.....	24
2.4.3. Cultivos seleccionados para esta tesis	32
2.4.3.1. Arándano.....	32
2.4.3.2. Piña	37
2.4.4. Las semillas.....	40
2.4.5. La propagación vegetativa	45
2.4.6. Automatización.....	47
2.4.6.1. Objetivos de la automatización:	50
2.4.6.2. Ventajas de la automatización.....	51
2.4.7. Material para estructura mecánica.....	55

2.4.8.	Motores	56
2.4.8.1.	Motores térmicos	57
2.4.8.2.	Motores eléctricos.....	64
2.4.9.	Arduino	80
2.4.10.	Tipos de Arduino.....	82
2.4.11.	Arduino pro mini	84
CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA		86
3.1.	Estado inicial del sistema.....	86
3.2.	Metodología	87
3.3.	Desarrollo del prototipo	89
3.4.	Dinámica y selección del actuador	90
3.4.1.	Tipos de actuadores	90
3.5.	Diseño de la estructura y mecanismo de movimiento	101
3.6.	Diseño del circuito electrónico y su respectiva estructura (caja) protectora	102
3.6.1.	Controlador	102
3.6.2.	Interfaz	103
3.6.3.	Diseño de pcb o (printed circuit board)	107
3.6.3.1.	Diseño de circuito en entorno ISIS.....	108
3.6.4.	Implementación de tarjeta impresa y circuito	114
3.6.5.	Programación y compilado del código	116
3.7.	Iluminación de cultivos.....	117
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS.....		119
4.1.	Pruebas de funcionamiento	119
4.1.1.	Concentración de medios de cultivos (mg/lt).....	120
4.1.2.	Programación de ciclos de inmersión	121
4.1.3.	Prueba de inmersión temporal 1	121
4.1.4.	Prueba de inmersión temporal 2	121
4.1.5.	Prueba de inmersión temporal 3	121
4.1.6.	Prueba de inmersión temporal 4	122
4.1.7.	Prueba de inmersión temporal 5	122
4.1.8.	Prueba de inmersión temporal 6	123
4.1.9.	Prueba de inmersión temporal 7	123
4.1.10.	Prueba de inmersión temporal 8.....	123

4.2.	Resultados	124
4.2.1.	Prueba con arándano	124
4.2.2.	Prueba con piña	125
4.3.	Costos y presupuesto	127
	CONCLUSIONES	129
	RECOMENDACIONES	130
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
	ANEXOS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama de la estructura básica de la Tesis.	10
Figura 2.	Etapas generales de la multiplicación in vitro.	16
Figura 3.	Ahorro potencial SIT vs medio semisólido.	18
Figura 4.	Sistema de inmersión temporal tipo Twin-Flask..	20
Figura 5.	Frasco aplicado en un SIT RITA.	27
Figura 6.	Sistema de inmersión temporal tipo RITA.	27
Figura 7.	Sistema de inmersión temporal tipo Twin-Flask.	28
Figura 8.	Ciclo de un sistema de inmersión temporal tipo Twin-Flask.	29
Figura 9.	Ejemplo de un sistema de inmersión temporal con frascos Nalgene.	30
Figura 10.	Ejemplo de un sistema de inmersión temporal tipo Plant form.	31
Figura 11.	Ejemplo de un sistema de inmersión temporal SETIS.	32
Figura 12.	Eficiencia de los sistemas temporales BIT, SETIS y RITA para Stevia.	32
Figura 13.	Arándanos.	33
Figura 14.	Evolución comparativa de la concentración de nitrógeno (N).	35
Figura 15.	Evolución comparativa de la concentración de potasio (K).	35
Figura 16.	Evolución comparativa de la concentración de calcio (Ca).	36
Figura 17.	Piña.	38
Figura 18.	Semillas.	42
Figura 19.	Estructura del ovario de una flor.	43
Figura 20.	Polinización en agiospemas.	44
Figura 21.	Propagación clonal.	46
Figura 22.	Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado.	50
Figura 23.	Ejemplo de un diseño de un diagrama de bloques del funcionamiento de los sistemas automatizados para la producción de papel.	50
Figura 24.	Proceso de diseño de un sistema de control.	53
Figura 25.	Motor eléctrico y sus partes internas.	56
Figura 26.	Clasificación motores térmicos.	59
Figura 27.	Funcionamiento motor de dos tiempos.	60

Figura 28. Ciclo de motor de dos tiempos explicado.....	61
Figura 29. Funcionamiento de motor de 4 tiempos explicado.	61
Figura 30. Ciclo de motor de dos tiempos.	63
Figura 31. Motor de combustión externa.	63
Figura 32. Diagrama y esquema de motor en serie.....	65
Figura 33. Curva característica de funcionamiento de un motor serie.	65
Figura 34. Diagrama y esquema de motor compound.	66
Figura 35. Curva característica de funcionamiento de un motor compound.	66
Figura 36. Esquema de motor shunt.	67
Figura 37. Curva característica de funcionamiento de un motor shunt.	67
Figura 38. Característica momento-velocidad en motores serie, compound y shunt.	68
Figura 39. Característica velocidad-corriente en motores serie, compound y shunt.	68
Figura 40. Característica momento-corriente en motores serie, compound y shunt.	69
Figura 41. Diagramas de motor con escobillas y sin escobillas.	69
Figura 42. Diagrama de control de un motor paso a paso.....	70
Figura 43. Partes de un servomotor.	71
Figura 44. Conexión estrella.....	73
Figura 45. Conexión triángulo.....	74
Figura 46. Partes de un servomotor.	75
Figura 47. Taladro casero.....	75
Figura 48. Tipos de motores asíncronos monofásicos.	76
Figura 49. Además de las conexiones de la excitación, el motor dispone de las conexiones F1 y F2 para alimentar al rotor con corriente continua.....	77
Figura 50. Partes de un motor asíncrono.....	78
Figura 51. Calculos de parámetros para motores AC.	79
Figura 52. Placa de Arduino.....	81
Figura 53. Tipos de Arduino.	83
Figura 54. Arduino pro mini.....	85
Figura 55. Columna de estantes.....	86
Figura 56. Bolsas con plantas cultivadas mediante SIT.....	87

Figura 57. Diagrama de bloques de proceso de implementación de SIT de tesis.	88
Figura 58. Imagen del sistema de inmersión temporal de rejilla manual.....	89
Figura 59. Mecanismo de movimiento de la rejilla.	90
Figura 60. Diagrama esquemático de un servomotor.	92
Figura 61. 3 ejes en el eje mecánico del servomotor.	93
Figura 62. Ubicación centro de gravedad en una superficie rectangular.	94
Figura 63. Fuerzas y momento en eje Y.	94
Figura 64. Fuerzas y momento en eje Z.....	95
Figura 65. Carga distribuida sobre una superficie rectangular.....	95
Figura 66. Dimensiones de la rejilla.	96
Figura 67. Ubicación de carga Q en centroide.	97
Figura 68. Ubicación de la nueva carga Q en 3d.....	97
Figura 69. Momento o torque en el eje X o eje de servomotor.	98
Figura 70. Primer estado: Rejilla en estado horizontal.	98
Figura 71. Segundo estado: Rejilla en inclinada a un ángulo.....	100
Figura 72. Mecanismo de transmisión servo-rejilla inicial.	101
Figura 73. Mecanismo de transmisión servo-rejilla final.....	101
Figura 74. Arduino Pro Mini.	102
Figura 75. Pantalla LCD 2 X 16.	104
Figura 76. Diagrama de bloques de programación.	105
Figura 77. Circuito simulado y probado en el protoboard donde se observan las opciones de configuración que puede seleccionar el usuario mediante los pulsadores.....	106
Figura 78. Circuito simulado y probado en el protoboard donde se observan las opciones OK y REGRESAR que puede seleccionar el usuario mediante los pulsadores.....	106
Figura 79. Circuito simulado y probado en el protoboard donde se observa el desarrollo de inmersión temporal mediante ciclos configurados para los cultivos.	106
Figura 80. Portada del software PROTEUS.....	107
Figura 81. Entorno ISIS, donde se desarrolló el circuito de control del sistema....	109
Figura 82. Zoom de entorno ISIS, donde se desarrolló el circuito de control del sistema.	109

Figura 83. Arduino Pro Mini, entorno ISIS.....	110
Figura 84. Borneras dobles para las fuentes.....	110
Figura 85. Pines para conectar el servomotor; pin de tierra, pin de fuente y pin de señal.	111
Figura 86. Optoacoplador y conexiones respectivas.....	111
Figura 87. Pines de conexión para LCD.	111
Figura 88. Cinco pulsadores.	112
Figura 89. Diseño de PCB en entorno ARES.....	112
Figura 90. Diseño de PCB en interface ARES (zoom).....	113
Figura 91. Modelo 3D de la PCB.	113
Figura 92. Modelo 3D de la PCB (zoom).	114
Figura 93. Modelo 3D de conexiones de los componentes (zoom).....	114
Figura 94. Imagen del circuito de control instalada dentro de chasis protector.....	115
Figura 95. Soporte, conductor y recubrimiento en una placa de circuitos impresos.....	115
Figura 96. Imagen del cultivo de arándano obtenido.....	124
Figura 97. Imagen del cultivo de arándano obtenido.....	125
Figura 98. Imagen del cultivo de piña obtenido	126
Figura 99. Imagen del cultivo de piña obtenido.	126
Figura 100. Imagen de bioreactores.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Principales países exportadores de arándanos	3
Tabla 2	Demanda y cosecha de piña en Perú	3
Tabla 3	Fuerzas motrices de la innovación en agricultura	5
Tabla 4	Costo de instalación de un sistema de inmersión temporal en biorreactores.....	17
Tabla 5	Ahorro potencial SIT vs medio semisólido	17
Tabla 6	Presupuesto de sistema de inmersión temporal.....	20
Tabla 7	Composición del medio de cultivo a utilizar en la multiplicación de Ananas comosus.	25
Tabla 8	Composición del medio de cultivo a utilizar en la multiplicación de Ananas comosus.	30
Tabla 9	Valor nutricional del arándano.....	36
Tabla 10	Tabla de macronutrientes y micronutrientes para reproducir piña.....	39
Tabla 11	Tabla variables y parámetros de procesos.	55
Tabla 12	Tabla de propiedades del aluminio.....	56
Tabla 13	Comparación tipos de motores para grúas horquilla.	58
Tabla 14	Comparación tipos de motores para grúas horquilla.	82
Tabla 15	Comparación tipos de motores para grúas horquilla.	84
Tabla 16	Partes de actuadores giratorios.....	91
Tabla 17	Data sheet de Arduino Pro Mini.....	103
Tabla 18	Especificaciones técnicas de LCD.	104
Tabla 19	Materiales de placas de circuitos impresos.....	116
Tabla 20	Fluorescente vs LED.	118
Tabla 21	Concentración de medios de cultivos.....	120
Tabla 22	Prueba de inmersión temporal 1.....	121
Tabla 23	Prueba de inmersión temporal 2.....	121
Tabla 24	Prueba de inmersión temporal 3.....	122
Tabla 25	Prueba de inmersión temporal 4.....	122
Tabla 26	Prueba de inmersión temporal 5.....	122
Tabla 27	Prueba de inmersión temporal 6.....	123
Tabla 28	Prueba de inmersión temporal 7.....	123

Tabla 29	Prueba de inmersión temporal 8.....	124
Tabla 30	Prueba de inmersión temporal de arándano.....	124
Tabla 31	Prueba de inmersión temporal de piña.	125
Tabla 32	Costo y presupuesto.....	127

RESUMEN

El sistema de inmersión temporal de la tesis titulada “Diseño e implementación de un sistema de inmersión temporal automatizado para cultivos de arándano y piña en los laboratorios de Nutriarandanos s.a.c.”, está compuesto principalmente por un sistema mecánico y un sistema electrónico que pueden controlar la separación por gravedad de semillas y el medio líquido de cultivo.

Se implementó de manera exitosa un sistema mecánico giratorio capaz de ser controlado por un servomotor. De esta manera se permite programar y configurar los ciclos y tiempo de inmersión luego de ser determinados por el usuario. Estos parámetros se configuran mediante pulsadores y una interfaz gráfica que se visualiza en una pantalla LCD. Fue posible implementar un sistema de inmersión temporal para ser instalado en los estantes de un laboratorio de biotecnología.

Como resultado de la presente tesis, se implementó un sistema de inmersión temporal automatizado para cultivos de arándano y piña, lo cual permitirá que las personas que trabajen o estudien micropropagación de cultivo puedan acceder a un sistema de inmersión temporal más económico e intuitivo en comparación a los que se comercializan actualmente en el mercado mundial.

Al final de la tesis se concluyó que, en el caso del arándano, dependiendo de la variedad, cada ciclo de propagación puede durar de 35 a 45 días con una mejor tasa de multiplicación en 3 ciclos de inmersión cada 8 horas, cada inmersión deberá durar 3 minutos.

Para el caso de la piña cada ciclo de multiplicación puede durar de 30 a 40 días dependiendo de la variedad y la mejor tasa de multiplicación se puede lograr con 3 ciclos de inmersión al día cada 8 horas durante 5 minutos.

Palabras Claves: Sistema de Inmersión Temporal (SIT), Micropropagación, Cultivo, Medio Líquido.

ABSTRACT

The temporary immersion system of the thesis entitled “Design and implementation of an automated temporary immersion system for blueberry and pineapple crops in Nutriarandanos sac laboratories” is mainly composed of a mechanical system and an electronic system that can control the integration by gravity of seeds and the liquid culture medium.

It is successfully implemented in a rotating mechanical system capable of being controlled by a servomotor. In this way, it is possible to program and configure the cycles and the immersion time after being specified by the user. These parameters are configured using push buttons and a graphical interface that is displayed on an LCD screen. It was possible to implement a temporary immersion system to be installed in the states of a biotechnology laboratory.

As a result of this thesis, an automated temporary immersion system for blueberry and pineapple crops will be implemented, which will have to do with people who work or study micropropagation of cultivation will be able to access a more economical and intuitive temporary immersion system in comparison to those currently marketed in the world market.

At the end of the thesis it was concluded that, in the case of blueberries, depending on the variety, each propagation cycle can last from 35 to 45 days with a better multiplication rate in 3 immersion cycles every 8 hours, each immersion must last 3 minutes

In the case of pineapple, each multiplication cycle can last from 30 to 40 days controlling the variety and the best multiplication rate can be achieved with 3 immersion cycles per day every 8 hours for 5 minutes.

Keywords: Temporary Immersion System (SIT), Micropropagation, Cultivation, Liquid Medium.

INTRODUCCIÓN

El Perú se ha convertido en uno de los diez primeros países proveedores de alimentos en el mundo y su agricultura creció a un promedio de 3.2% anual entre 2011 y 2014. Este sector se ha convertido en una de las principales actividades económicas que impulsan el desarrollo del Perú, acompañando a la minería en la generación de empleo formal rural y divisas para nuestro país (Parr.1).

La exportación de frutas y hortalizas frescas a lugares tan distantes como la China, es una actividad muy sofisticada, con altísimo contenido de tecnología y valor agregado. Hasta hace relativamente pocos años, los alimentos frescos solo viajaban entre países limítrofes. Uno de los pioneros en exportarlos a grandes distancias fue Chile, del que empezamos un proceso de aprendizaje desde los años 90. Poco a poco fuimos adoptando la tecnología y creando nuestros propios desarrollos para aprovechar las condiciones naturales favorables de nuestro territorio (Parr.2).

El desarrollo de la agricultura en el Perú es un segundo brazo de la revolución de la gastronomía, pues sin nuestros ingredientes locales, esta no podría haber llegado a generar una oferta tan singular y valiosa. Por eso, es importante apoyar a este sector que tiene tanto potencial. Además, se podrían aprovechar los avances tecnológicos que están cambiando la industria y las tendencias del futuro (Parr.6-7). (<https://www.lampadia.com/analisis/recursos-naturales/la-agricultura-peruana-tiene-un-gran-futuro/>).

Perú es un importante proveedor mundial de arándanos. En el 2017 logró posicionarse como el tercer mayor exportador de arándanos en el mundo, debido al alza de la producción nacional y al protocolo fitosanitario con China (firmado en 2016). Gracias a este último, nos ubicamos como el segundo proveedor del país asiático (Parr.1).

El posicionamiento de este fruto en el mercado internacional es explicado en la gran calidad del producto y los incrementos en la demanda de Países Bajos, China y Estados Unidos. Según la opinión de expertos del sector agrario, los arándanos se convertirán en muy pocos años, en la estrella de la agro-exportación peruana (Parr.4).

De acuerdo a Mincetur, el año pasado las exportaciones de arándanos sumaron US\$ 361 millones, lo que significó un crecimiento del 50% respecto al 2016. El departamento norteño de La Libertad fue el que lideró las exportaciones de arándanos, con una participación de 48% en el mercado exportador del fruto, seguido de Lima (19%), Ica (14%) y Lambayeque (6%) (Parr.2).

Las empresas peruanas productoras de arándanos que destacan en su exportación son Camposol y Tal SA, que se ubicaron como la primera y segunda mayor exportadora peruana de arándanos, con 32% y 23% de participación, respectivamente (Parr.3).

Actualmente, los arándanos peruanos se exportan a 24 países, entre sus principales destinos están Estados Unidos, Países Bajos, China, Hong Kong y Canadá. El año pasado, Estados Unidos se constituyó como el mayor mercado destino, seguido de la Unión Europea y China (Parr.4). (<https://peru.info/es-pe/comercio-exterior/noticias/7/29/peru-es-el-tercer-mayor-exportador-mundial-de-arandanos>).

Las principales empresas exportadoras de Perú han experimentado un mayor rendimiento y más cantidad de hectáreas en la producción de arándanos respecto al año anterior, lo que hace presagiar que en la próxima campaña superará a España, que ocupa el tercer lugar, con una tasa media de crecimiento anual del 130.9%. Este aumento situaría a este país muy cerca de Canadá y Chile tal como se aprecia en la Tabla 1 (Parr.1). (<https://www.freshplaza.es/article/9030904/peru-incrementaria-su-produccion-de-arandanos-en-este-ano-2018/>).

La piña es cultivada ampliamente alrededor del mundo. En Perú, se produce en mayor cantidad la variedad criolla selva y la Golden MD-2, la cual a su vez es producida en mayor cantidad en la Región Junín, en el departamento de Junín.

Tabla 1 Principales países exportadores de arándanos

	Países Exportadores (Arándano)	2,013	2,014	2,015	2,016	2,017	% Partic	CAGR
		cantidad exportada, Toneladas					2,017	
1	Chile	81,480	83,828	87,067	113,051	87,988	20.4%	1.9%
2	Canadá	90,218	94,183	106,888	100,808	82,789	19.2%	-2.1%
3	España	14,725	23,250	30,249	36,070	46,511	10.8%	33.3%
4	Perú	1,513	2,902	10,353	28,154	43,007	10.0%	130.9%
5	Estados Unidos de América	59,362	49,036	42,161	45,561	39,316	9.1%	-9.8%
6	Países Bajos	11,982	16,122	17,284	22,839	27,822	6.5%	23.4%
7	Argentina	12,249	16,307	14,782	16,936	15,627	3.6%	6.3%
8	Marruecos	4,695	6,750	8,394	11,199	15,561	3.6%	34.9%
9	México	2,808	4,527	4,881	8,380	13,930	3.2%	49.2%
10	Polonia	8,981	11,142	13,781	9,370	12,854	3.0%	9.4%

Fuente: <https://www.freshplaza.es/articulo/9030904/peru-incrementaria-su-produccion-de-arandanos-en-este-ano-2018/>

La producción comienza en alza en los meses de octubre a marzo y medianamente altas de abril a mayo y bajas de junio a setiembre. La oferta cae precipitosamente en agosto setiembre (debido principalmente a la disminución de la temperatura de invierno) creando un incremento de los precios en octubre a enero. En octubre las ventas de piña se recuperan antes de caer al promedio mínimo anual en junio a septiembre como se aprecia en la Tabla 2. Estos patrones reflejan la posición de Costa Rica como proveedor dominante a lo largo de todo el año. Otros proveedores importantes para Estados Unidos son (Honduras, Ecuador, México, Guatemala) tienen un patrón de oferta similar, aunque Ecuador se mantiene como proveedor importante e durante junio a agosto. (Promperu, 2019, p.12).

Tabla 2 Demanda y cosecha de piña en Perú

Ene	Febr	Marz	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic

Leyenda:

Mejores Cosechas y mayores demandas	Época moderado de cosecha y compra	Época de baja demanda por temporada de invierno
-------------------------------------	------------------------------------	---

Fuente: <http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/48019906radF3702.pdf>.

La innovación en agricultura ha permitido a la creciente población del mundo soslayar hambrunas masivas, mediante el incremento de la producción agrícola y, en consecuencia, de la disponibilidad de alimentos, y de la mejora de los ingresos de los productores agrícolas, que conllevan la reducción del hambre y de la pobreza. Para enfrentar los desafíos globales, el nexo entre el acrecentamiento de la productividad de la agricultura, la conservación de la base de los recursos naturales y la innovación en agricultura parece obvio.

Por tanto, es necesario acrecentar las inversiones en actividades nacionales e internacionales de investigación para el desarrollo agrícola, reforzando los sistemas nacionales de investigación agrícola. El Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (International Food Policy Research Institute - IFPRI) sostiene que para conseguir un incremento de 0.5 % de la productividad agrícola, las inversiones nacionales e internacionales en investigación para el desarrollo deben ascender desde los actuales USD 5.1 mil millones por año hasta los USD 16.4 mil millones por año, antes de 2025.

Las tecnologías tienen que ser apropiadas, accesibles y adaptadas a las necesidades locales de los agricultores pobres. Incluso con los niveles actuales de tecnología, en muchos lugares sigue habiendo muchas diferencias entre los rendimientos potenciales, que se obtienen en las estaciones experimentales aplicando las prácticas agrícolas ya establecidas, y los rendimientos reales obtenidos en las explotaciones agrícolas por los pequeños agricultores. La falta de comunicación de la información y de aptitudes constituye un obstáculo importante para los pequeños productores agrícolas, limita su capacidad de acceso a los beneficios de la investigación, los aleja de utilizar tecnologías mejoradas y reduce la eficacia de las que adoptan. (Sonnino A, & Ruane J, 2016, p.31).

En las últimas décadas nuevos factores modificaron totalmente el escenario de la agricultura global y transformaron radicalmente las necesidades de cambios tecnológicos y organizativos de los productores agrícolas. Entre ellos se pueden mencionar el cambio de enfoque de las explotaciones agrícolas desde la producción (enfoque cuantitativo) hacia el mercado (enfoque

cualitativo) y el aumento de la competencia como consecuencia del libre mercado y la globalización.

En este contexto surge y se consolida la tendencia a adoptar también en agricultura el concepto de innovación no solo como adopción de una nueva tecnología, sino como una combinación exitosa de tecnologías y prácticas, de nuevos conocimientos y esquemas mentales, y de nuevas instituciones y formas de organización social. Las fuerzas motrices de la innovación pertenecen a factores de mercado, ambientales, políticos y regulatorios, así como científicos y tecnológicos, como se resume en la Tabla 3. (Sonnino A, & Ruane J, 2016, p.34).

Tabla 3 Fuerzas motrices de la innovación en agricultura

Sectores	Factores que estimulan la innovación en agricultura
Mercado	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambios de los patrones de consumo alimentario como resultado del crecimiento de la clase media. 2. Posición dominante de las cadenas de distribución de alimentos. 3. Comercio internacional y cambios de la demanda global. 4. Cambios en la sensibilidad de los consumidores a sostenibilidad, inocuidad de alimentos, etc. 5. Precios de los insumos (abonos, plaguicidas, fumigaciones, carburantes) y costo de la mano de obra.
Ambiente	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambio climático (precipitaciones, temperatura, presencia e incidencia de plagas, malezas y enfermedades). 2. Desastres naturales. 3. Disponibilidad de recursos naturales (tierra, agua, biodiversidad).
Políticas y marco regulatorio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Reglas, estándares y normativas (por ejemplo, en sanidad animal y vegetal e inocuidad alimentaria). 2. Impuestos y tasas. 3. Incentivos y subsidios (incluye crédito).
Ciencia y tecnología	<ol style="list-style-type: none"> 1. Avances en los conocimientos básicos de las ciencias de la vida. 2. Tecnologías basadas en TIC (sensores, ordenadores, comunicación). 3. Conocimiento de oportunidades de mercados, precios. 4. Disponibilidad de nuevos insumos (semilla mejorada, biofertilizantes, bioplaguicidas, máquinas agrícolas). 5. Disponibilidad de nuevas prácticas agronómicas mejoradas (manejo de plagas y de malezas, riego, cosecha). 6. Nuevas tecnologías e infraestructuras de almacenaje y conservación.

Fuente: <http://www.fao.org/3/ar635s/ar635s.pdf>.

Durante años, las tecnologías empleadas para la producción de los alimentos más importantes se encontraban basadas en el tamaño de escala. Respondían a la pregunta: ¿Cómo podríamos alimentar a una población en rápido crecimiento con menores gastos?

En base a la información recopilada se formula la siguiente pregunta ¿Cómo utilizar la tecnología para aportar una tecnología económica, de fácil construcción y de esta manera seguir colaborando con el desarrollo de la agricultura en el Perú? En este trabajo de tesis titulada “diseño e implementación de un sistema de inmersión temporal automatizado para cultivos de arándano y piña en los laboratorios de Nutriarandanos s.a.c.” se analiza detalladamente como desarrollar un sistema de inmersión temporal económico y de uso intuitivo. También se detallan los problemas que se presentan actualmente con los sistemas de inmersión temporal comerciales.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Problematización

La industria nacional de micro propagación de cultivos, presenta fuertes carencias con respecto al desarrollo de sistemas de inmersión temporal (SIT), específicamente, en la investigación para crear nuevos métodos de inmersión temporal o para mejorar los que se comercializan. Pese a la falta de variedad de SIT y sus grandes beneficios para la agricultura peruana, actualmente se desarrolla prioritariamente la parte biológica y química (es decir, formulación de medios líquidos para la micro propagación de cultivos) sobre la parte física; como es la separación de las yemas y medio líquido. Los científicos especializados en micro propagación y cultivo in vitro (biotecnólogos) de nuestro país se encuentran en una constante búsqueda de métodos más accesibles y eficientes para utilizarlos como SIT.

El SIT más utilizado, emplea botellas cerradas herméticamente como recipientes para las yemas de los cultivos y medio líquido de multiplicación. Mediante un sistema neumático, se moviliza el medio líquido de una botella a otra. Aunque es el sistema más comercializado del mundo, tiene algunas desventajas. La principal desventaja son los altos costos, lo cual hace inaccesible este sistema a las pequeñas empresas en el rubro. Otra desventaja es el espacio que ocupa un SIT neumático pues necesita instalaciones espaciales y estantes grandes, así como esperar por muchos días la importación y desaduanaje de los repuestos.

Otro modelo de SIT son los que se encuentran conformados por biorreactores, una bomba de pecera y mangueras de silicona. Este modelo presenta las mismas desventajas que un SIT neumático para los biotecnólogos o estudiantes de ciencias botánicas que desean acceder a un SIT de manera rápida y económica.

Actualmente tanto estudiantes, ingenieros agrónomos, biotecnólogos y en nuestro caso de estudio, Nutriarandanos s.a.c., implementan pequeños laboratorios en alguna habitación de su hogar o en una oficina pequeña donde lo más común es adecuar dicho ambiente para que exista una humedad controlada, una emisión de luz y temperatura adecuada, se

instala aire acondicionado y la habitación se ozoniza cada cierto tiempo para mantenerla libre de gérmenes y polvo, que son agentes contaminantes que ponen en peligro la salud de las plantas ocasionando problemas en el crecimiento o la muerte.

1.1.1. Problema general

¿Cómo diseñar e implementar un sistema de inmersión temporal automatizado para cultivos de arándanos y piña en los laboratorios de Nutriarandanos s.a.c.?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo generar movimientos mecánicos capaces de producir una secuencia del proceso de inmersión temporal?
- ¿Cómo realizar la separación de manera eficiente del medio líquido y los explantes en un sistema de inmersión temporal?
- ¿Cómo monitorear y verificar la secuencia de movimientos mecánicos para la separación eficiente del medio líquido y los explantes de un sistema de inmersión temporal?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de inmersión temporal automatizado para cultivos de arándanos y piña en los laboratorios de Nutriarandanos s.a.c.

1.2.2. Objetivos específicos

- Implementar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido y los explantes.
- Diseñar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido y los explantes.

- Controlar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido y los explantes.

1.3. Justificación

La importancia del proyecto se justifica por lo seguido: la implementación de un sistema de inmersión temporal automatizado alternativo, permitirá obtener el mismo resultado del SIT neumático o con biorreactores, pero a un costo mucho menor, sin problemas para conseguir repuestos y evitando desaduanaje de piezas para reparación. Permitirá programar cómodamente los parámetros de inmersión al usuario, facilitando el control y la precisión del proceso.

Desarrollará nuevas tecnologías que permitan romper la brecha de calidad que existe entre la producción con tecnología nacional y la producción con tecnología extranjera, logrando un costo de producción menor y cultivos de pureza igual calidad.

La implementación de este sistema pretende aportar al sector comercial y de investigación y desarrollo, liberando a los laboratorios que emplean o que desean emplear un SIT, de la necesidad de comprar sistemas excesivamente costosos y que no se adecúan a su producción o intenciones.

La automatización es un área de investigación que se está desarrollando dentro de la Escuela de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Ricardo Palma. En la malla curricular de la carrera, llevamos un curso llamado Mecatrónica aplicada al Agro y al Gas. En este curso aprendimos más acerca de la situación del Agro en Perú a nivel tecnológico. Observamos que Perú no es un país que desarrolla tecnología, sino que dependemos de tecnología del extranjero.

1.4. Alcances y Limitaciones de la Investigación

El acceso a los laboratorios dedicados a biotecnología es limitado ya que cuentan con ambientes constantemente esterilizados y desinfectados para evitar enfermar los cultivos. Así mismo el acceso a la fórmula de los medios líquidos es información confidencial ya que ha sido desarrollada por los científicos y biólogos de Nutriarandanos s.a.c.

1.5. Estructura de la Tesis

La tesis se encuentra dividida en cuatro (04) capítulos, un (01) anexo y las referencias bibliográficas, tal como se muestran en la Figura 1. La estructura de la tesis corresponde a la resolución secuencial del problema de diseño e implementación de un sistema de inmersión temporal automatizado para cultivos de arándano y piña en los laboratorios de Nutriarandanos s.a.c. A continuación, se describe la composición de los cuatro capítulos y un breve resumen de los mismos.

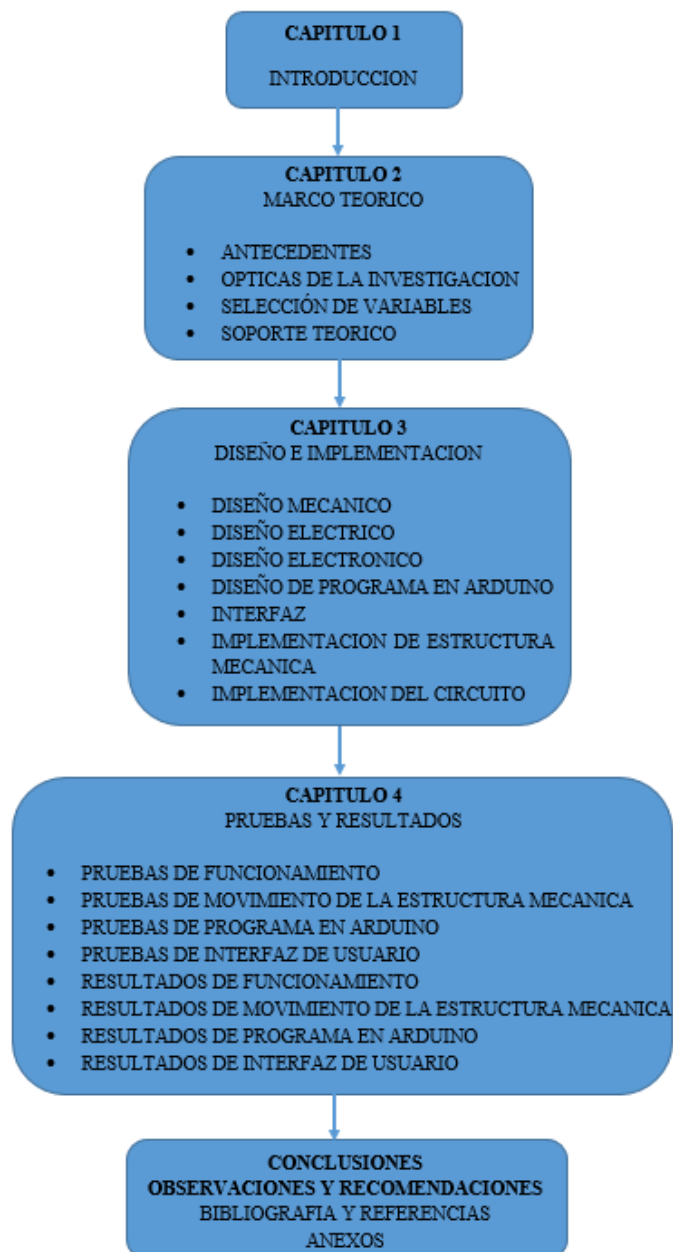


Figura 1. Diagrama de la estructura básica de la Tesis.

Fuente: Elaboración Propia

Capítulo 1. Introducción

En este capítulo se expone la introducción a la tesis, el planteamiento del problema, los objetivos de la misma y la justificación de la investigación. Asimismo, se describe la estructura de la tesis, dando a conocer el contenido de cada uno de los capítulos.

Capítulo 2. Marco teórico

En este capítulo se describe los antecedentes relacionados con el desarrollo de esta tesis y conceptos teóricos que enmarcan y sirven de guía para esta investigación. Se hace una descripción de conceptos básicos para entender la tesis, sobre biotecnología, propagación vegetativa, SIT y sobre las frutas que se han seleccionado en particular para esta tesis, los cuales ayudan a entender las consideraciones que se debe tener antes de empezar a diseñar e implementar un sistema de inmersión temporal.

Capítulo 3. Diseño e Implementación del sistema

En este capítulo se describe el diseño e implementación de todo el sistema propuesto. Se inicia con la descripción del SIT: diseño mecánico, diseño electrónico, diseño del control por interfaz mediante pulsadores y LCD, programación del microcontrolador, implementación de las estructuras mecánicas y la implementación del sistema electrónico de control.

Capítulo 4. Pruebas y Resultados

En este capítulo se describe las pruebas realizadas sobre el SIT y los resultados obtenidos durante la investigación.

Conclusiones

Se redactan las conclusiones en función a los objetivos propuestos inicialmente.

Recomendaciones

Se redactan las recomendaciones que se deberán tomar en cuenta para futuras líneas de investigación que se puedan generar.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrollan los antecedentes de la investigación que se tomaron como referencia y como bases para el diseño e implementación de un SIT. Asimismo, se desarrolla y describe la óptica y la hipótesis de la investigación. Asimismo, se establece la selección de variables que define el control del sistema. Finalmente, se presentan las bases teóricas que sustentan y complementan con todos los temas que se utilizaron y aplicaron para el desarrollo de la presente tesis.

2.1. Antecedentes de la Investigación

La automatización del proceso de propagación in vitro es una necesidad para la reducción de los costos en la industria de la micropropagación. El uso de medios de cultivos líquidos es un aspecto primordial para la automatización de la propagación in vitro. Además, es considerada como la técnica ideal para la propagación masiva de plantas, ya que disminuye la manipulación y permite reducir los costos del medio de cultivo.

A continuación, se presentarán estudios de los aportes más importantes necesarios para esta investigación, basados en el desarrollo de SIT:

Solórzano, R. (2016) señala algunas conclusiones que podrían ser resumidas en:

- La automatización reduce la mano de obra empleada en el proceso lo cual repercute en costos de operación, además el control de los parámetros de operación permite que la micropropagación sea más eficiente.
- Se debería producir un prototipo en forma comercial para el desarrollo en investigación y garantizar la seguridad alimentaria y económica.

Albarracín, P. (2012) señala algunas conclusiones que podrían ser resumidas en:

- Se conoce que el alto costo de la mano de obra y la escasa posibilidad de automatización de un SIT son factores que repercuten negativamente en el precio unitario de la planta obtenida a través de este proceso.

- El tiempo de inmersión resultó ser un parámetro determinante en el porcentaje de contaminación de segmentos nodales.

Calisaya, D. (2014) concluye que:

Con un tiempo de inmersión de 1 minuto por 4 veces al día se obtuvieron los valores más altos para la longitud de los brotes, mientras que para el tratamiento de 8 inmersiones al día durante 1 minuto se obtuvo el mayor número de hojas y coeficiente de multiplicación (p.97).

Cárdenas, A. (2015) señala algunas conclusiones que podrían ser resumidas en:

- El empleo de un SIT permite el intercambio bidireccional de las plantas con el medioambiente. La renovación de gases dentro del frasco de cultivo favorece el crecimiento y desarrollo de los brotes.
- Una ventaja adicional de las técnicas de multiplicación in vitro en comparación con los sistemas de propagación vegetativa convencional, es que mientras una estaca en campo únicamente es capaz de producir una planta, la multiplicación in vitro puede producir varias yemas en pocas semanas.

También se debe mencionar el estado del arte en lo que respecta al presente trabajo.

Estado del arte en el mundo:

Existe gran cantidad de empresas en el mundo dedicadas a la micropropagación comercial; algunas de ellas producen más de 200000 plantas in vitro por semana, de especies ornamentales, frutales, forestales, raíces y tubérculos. Tradicionalmente, la producción de vitroplantas en estos laboratorios emplea un medio de cultivo semisólido, con bajas densidades de siembra y con limitaciones de producción, debido a los requerimientos de espacio y al empleo de gran cantidad de mano de obra, lo cual incrementa los costos y trae como consecuencia una menor eficiencia económica (Parr.2).

El empleo de medios líquidos es primordial para lograr la automatización de los procesos

de cultivo *in vitro*. Sin embargo, el contacto constante de los explantes con el medio de cultivo líquido puede producir vitrificación. Al respecto, para reducir o eliminar este problema se proponen sistemas donde el explante está en contacto intermitente con el medio líquido y se produce una renovación continua de la atmósfera del envase para evitar acumulación de gases tóxicos como el etileno. Para resolver estos problemas se desarrollaron los recipientes para la inmersión temporal, los cuales son sistemas de cultivo que se basan en el contacto intermitente del medio líquido con los explantes por un corto periodo de tiempo. Mediante el uso de este sistema de micropropagación se puede incrementar considerablemente el coeficiente de multiplicación de brotes en comparación con las formas convencionales de propagación (Parr.2). (https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal).

Una herramienta tecnológica, como el sistema de inmersión temporal, exige el desarrollo de protocolos para cada especie y variedad que se quiera propagar, lo que requiere tiempo y recursos para definir las variables de producción, entre otras: frecuencia y tiempo de inmersión, composición y volumen del medio, tipo y cantidad de explantes, por lo que la efectividad de la técnica, el diseño de su aplicación y los protocolos deben ser corregidos y adaptados para cada caso en particular.

Los sistemas de inmersión temporal también han sido utilizados exitosamente en producción, para la obtención de un mayor número de bulbos y tubérculos. Por ejemplo, en papas de las variedades Desirée y Atlantic se alcanzó un promedio de 2,8 y 3,1 tubérculos por explante, respectivamente, comparado con 1 a 1,5 tubérculos obtenidos normalmente en medio semisólido (Jiménez et al., op. cit.). El peso fresco de los microtubérculos también fue mayor en el primer sistema (Ministerio de agricultura de Chile, 2009, p.9).

Francia, y Cuba han sido referentes en el desarrollo y aplicación de metodologías que permiten mejorar la eficiencia de los métodos convencionales de propagación. Se han realizado investigaciones para producir plantas de varias especies como caña de azúcar, piña, banano y microtubérculos de papa. Por otro lado, Estados Unidos, Holanda e Israel,

entre otros, han desarrollado y están usando comercialmente esta tecnología para producir plantas.

La inquietud por encontrar nuevas tecnologías, o herramientas tecnológicas, que permitan superar las limitaciones que presenta la micropropagación convencional ha implicado el desarrollo de métodos alternativos, como el sistema de inmersión temporal, que incorpora las ventajas del uso del medio líquido y diferentes grados de automatización al proceso de propagación *in vitro*, con el objetivo de reducir los costos de producción de plantas. (Ministerio de agricultura de Chile, 2009, p.9).

En el año 1997 surgió el sistema de inmersión temporal, que se logró a partir de la aplicación de un flujo de aire a uno de sus frascos, el cual hacía subir el medio de cultivo que, luego de bañar los explantes, descendía por gravedad. En consecuencia, la técnica SIT se inserta como un complemento o herramienta de apoyo, y no como una alternativa a la micropropagación. Las etapas regulares de la propagación *in vitro* se presentan en la Figura 2, aunque algunas especies o variedades podrían prescindir de una o las dos centrales:



Figura 2. Etapas generales de la multiplicación *in vitro*.

Fuente: Ministerio de agricultura de Chile

El costo de implementación de un sistema SIT en Chile, anexo a un laboratorio *in vitro* convencional ya establecido, se ha determinado en un monto total de \$ 2,8 millones o 3,421.73 USD (ver Tabla 4).

En la Tabla 5, se muestran el monto en pesos chilenos, que se ahorra al emplear un SIT en lugar de emplear un medio de cultivo semisólido.

Tabla 4 Costo de instalación de un sistema de inmersión temporal en biorreactores

Ítem/ Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Total (\$)
Válvula de corte	1	26.206	26.206
Filtros reguladores	2	26.000	52.000
Escuadra de fijación	1	2.457	2.457
Tornillo bulon	3	3.018	9.054
Racor	10	1.418	14.180
Conector 1	2	3.582	7.164
Tapón ciego	2	970	1.940
Conector 2	24	2.650	63.600
Tubo flexible	22	1.232	27.104
Tubo flexible	12	821	9.852
Tapón	10	635	6.350
Electroválvula	2	42.765	85.530
Bobina magnética	2	10.425	20.850
Regulador de Ca	2	19.984	39.968
Botellas (2 l)	40	12.506	500.240
Tapas	40	12.707	508.280
Manguera silicona	1	52.675	52.675
Filtros	40	6.272	250.880
Compresor	1	150.000	150.000
Programador	1	60.000	60.000
Materiales menores	1	40.000	40.000
Subtotal			1.928.330
IVA (19%)			366.383
Total 1			2.294.713
Costo instalación			600.000
Total 2			2.894.713
Costo asesoría implementación SIT			3.500.000
Total 3			6.394.713

Fuente: Ministerio de agricultura de Chile, 2009, p.9

Tabla 5 Ahorro potencial SIT vs medio semisólido

Arándanos	Producción de plantas (N°)				
	4.900	50.000	100.000	200.000	250.000
<i>In vitro</i> convencional (\$)	425.105	4.337.806	8.675.612	17.351.224	21.689.031
SIT (\$)	290.070	2.959.898	5.919.796	11.839.592	14.799.490
Ahorro potencial (\$)	135.035	1.377.908	2.755.816	5.511.633	6.889.541

Fuente: Ministerio de agricultura de Chile, 2009, p.9

En la Figura 3 se muestra la curva de ahorro antes mencionada con el costo en dólares.

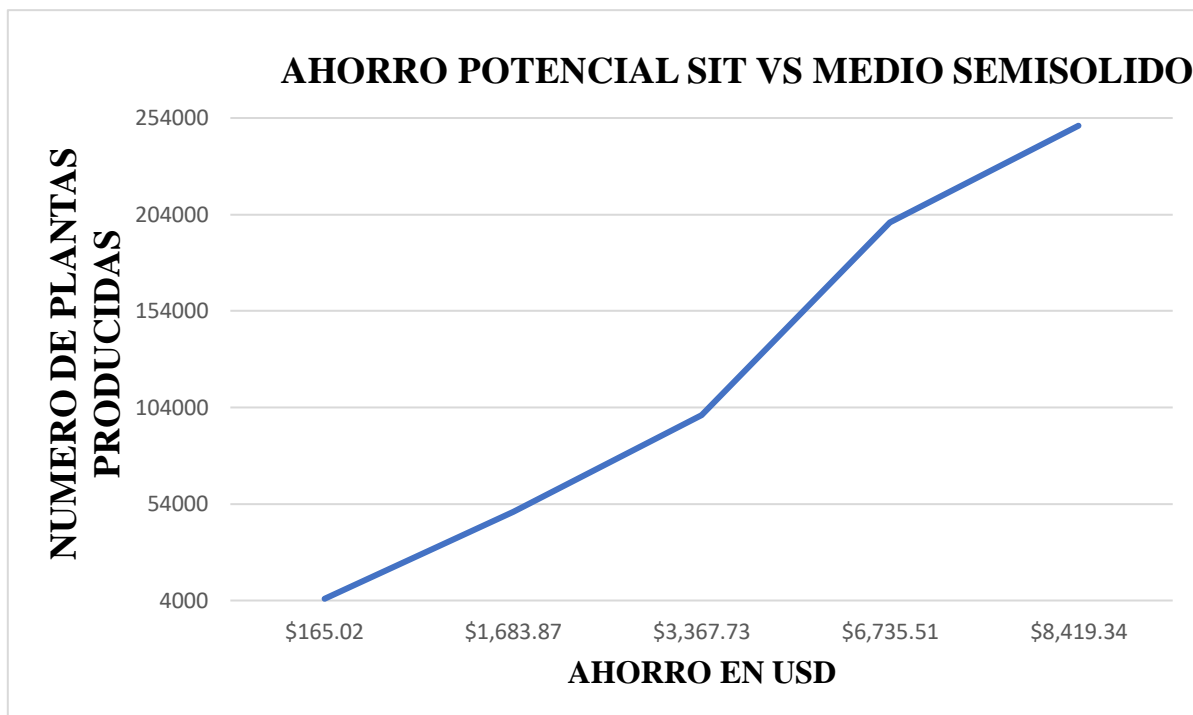


Figura 3. Ahorro potencial SIT vs medio semisólido.

Fuente: Ministerio de agricultura de Chile

En los últimos tiempos se han desarrollado investigaciones sobre la automatización en la propagación de plantas, que incluyen el diseño de nuevos sistemas para la micro propagación, ya que reducen el costo por explantes, permiten una mayor optimización biológica por los altos coeficientes de multiplicación que se obtienen y un mejor comportamiento de las vitroplantas ex vitro por mayor metabolismo autotrófico durante la fase in vitro. Los Sistemas de Inmersión Temporal (SIT) además de solucionar las dificultades de los cultivos en medios líquidos estáticos, abren la posibilidad de semiautomatizar algunas etapas del cultivo in vitro, permiten mayor facilidad de escalado y aumentan la eficiencia biológica y productiva del material propagado. Al mismo tiempo la morfología y el comportamiento fisiológico de los cultivos en los Sistemas de Inmersión Temporal son muy semejantes a los que presentan las plantas en condiciones ex vitro, lo que permite una mayor tasa de supervivencia.

Se ha declarado que el siglo XXI es el siglo del desarrollo biotecnológico por los impactos que ésta disciplina tendrá en el progreso de la ciencia y tecnología. La Biotecnología es un campo de rápido crecimiento a través de

los conocimientos desarrollados por ciencias como la biología, química, microbiología, genética, etc., para la producción de nuevos productos, esencial para el desarrollo y adelanto de la medicina, de la industria alimenticia, de la agricultura, de plantas y de animales a través del proceso de bioremediación.

Hoy en día las técnicas biotecnológicas han tomado mayor auge, pues hasta el momento para muchas especies vegetales, los sistemas de propagación tradicional no satisfacen las diversas demandas de estos cultivos, al igual que existen especies endémicas y/o en peligro de extinción. La biotecnología, todavía no ha cumplido con las expectativas existentes, para algunos cultivos recalcitrantes o no, es por eso que se han buscado variantes de técnicas de cultivo para lograr un mayor número de plantas sanas y con capacidad de desarrollarse en condiciones de campo. El Ecuador es una de las 17 regiones de mayor mega diversidad en el mundo, que, al ser investigada científicamente, puede constituirse en una fuente de descubrimientos de nuevos agentes biológicos, micro organismos y sustancias con aplicaciones industriales, médicas y alimentarias. La biotecnología en el Ecuador se encuentra en una fase de desarrollo inicial, por eso es trascendental formar personas con conocimientos sólidos en esta área para que puedan lograr un mayor y mejor progreso de la biotecnología en el país. (Azúa, R, 2017, p.1).

Así como en Chile, en Ecuador también se desarrolla la investigación y el desarrollo de sistemas de micropropagación de plantas. En la tesis de especialización “Diseño y automatización de un sistema de inmersión temporal para acelerar el crecimiento de plantas” de Ramón Azúa, se desarrolla un sistema de inmersión temporal automatizado.

Para este trabajo se empleó un sistema de inmersión temporal tipo Twin-Flask, es decir se empleó un biorreactor para el cultivo y otro biorreactor para contener el medio líquido de cultivo como se muestra en la Figura 4.

Para emplear este sistema es necesario controlar la presión de aire dentro de los frascos. Para esta investigación, fue necesario utilizar un compresor de aire y una electroválvula pilotada mediante un plc tipo LOGO.

El presupuesto final fue de 1,400.22 USD como se aprecia en la Tabla 6.



Figura 4. Sistema de inmersión temporal tipo Twin-Flask..

Fuente: Azúa, R, 2017, p.4.

Tabla 6 Presupuesto de sistema de inmersión temporal.

Sistema de Inmersión Temporal				
MATERIALES	UNIDAD	MARCA	PRECIO	FUNCIÓN
Módulo lógico programable LOGO 8 230RC	1	Siemens	\$ 180.11	Controlar el proceso del SIT
Breaker Termomagnético 20A 1p	1	General Electric	\$ 12.11	Proteger contra cortocircuitos y sobrecorrientes al equipo.
Relés CAT 700-HLT1U1	4	Siemens/Rockwell	\$ 88.00	Activan a las electroválvulas y evitan corrientes inversas para protección al equipo.
Electroválvula 3/2 1/4 110V 1/4 EMC	4	EMC	\$ 120.00	Abrir y cerrar el flujo de aire
Partes y piezas para instalación	1	local	\$ 200.00	Borneras, tablero de conexiones, conductores, switch on off, canaletas, etc...
Mano obra estimada	1		\$ 800.00	Ing. Encargado de programación e instalación del SIT.
Total			\$ 1,400.22	

Fuente: Azúa, R, 2017, p.8.

2.2. Ópticas de la Investigación

2.2.1. Hipótesis General

Es posible diseñar e implementar un sistema de inmersión temporal automatizado para cultivos de arándanos y piña en los laboratorios de Nutriarandanos s.a.c.

2.2.2. Hipótesis Específica

- Es posible implementar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido y los explantes.
- Es posible diseñar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido y los explantes.
- Es posible controlar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido y los explantes.

2.3. Selección de Variables

En este proyecto de tesis, con el fin de realizar la comprobación de la hipótesis, se definirán variables, las cuales serán observadas, analizadas y manipuladas para lograr alcanzar los objetivos planteados.

Un sistema de inmersión temporal es un sistema empleado para la propagación in vitro. Está basado en el contacto intermitente del medio de cultivo líquido con los explantes o partes de alguna especie de planta por un corto período de tiempo y la consecuente renovación de la atmósfera gaseosa. En este sentido, el SIT será nuestra variable dependiente con relación al periodo de tiempo y ciclos de inmersión, los cuales serán nuestras variables independientes.

Variable Dependiente: Sistema de inmersión temporal de separación por gravedad automatizado.

Variable Independiente 1: Período de tiempo de inmersión.

Variable Independiente 2: Cantidad de ciclos de inmersión

2.4. Bases Teóricas

Las técnicas biotecnológicas, en la actualidad han tomado mayor auge, pues hasta el momento para muchas especies vegetales, los sistemas de propagación tradicional no satisfacen las diversas demandas de estos cultivos, al igual que existen especies endémicas y/o en peligro de extinción, que como vía alternativa para su rescate y conservación. La biotecnología, todavía no ha cumplido con las expectativas existentes, para algunos cultivos recalcitrantes o no, es por eso que se han buscado variantes para lograr hacer como una herramienta muy útil, para lograr un mayor número de plantas sanas y con capacidad de desarrollarse en condiciones de campo. Pero las técnicas biotecnológicas y en específico el cultivo in vitro más efectivo este proceso, en cuanto a lograr un mayor número de plantas, con menos costos, es por eso que se ha trabajado en los últimos años a nivel mundial, en la automatización de la micro propagación, ya sea de forma completa o parcial, o sea automatizar algunas de las fases, no el proceso completo, pues el empleo de robots, ha sido hasta ahora un monopolio de los países más desarrollados; los países menos desarrollados deben buscar alternativas que sean sustentables y eficientes, para lograr dar el gran salto en la propagación in vitro de especies vegetales de interés agrícola y económico, así como en la conservación de la biodiversidad. (Rosales, Rodríguez, Alvarado, & Cárdenas, 2003, p.69).

En el año 1997, surgió el denominado Sistema de Inmersión temporal, creado en el CIRAD (centro de cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo) en Francia, este sistema, se logró a partir de la aplicación de un flujo de aire a uno de sus frascos, el cual hacía subir el medio de cultivo y luego de bañar los explantes, el medio descendía por gravedad. Este método ha revolucionado los métodos tradicionales de micropropagación, pues se han logrado una mayor tasa de multiplicación, enraizamiento y aclimatación, así como niveles elevados de supervivencia en condiciones de campo, se plantea que este sistema provoca cambios en la atmósfera interna de los frasco, trayendo consigo un mayor crecimiento y desarrollo de los explantes, además de que las vitroplantas mantienen una capa superficial de medio de cultivo hasta la próxima inmersión, lo que evita

la pérdida por desecación. (Rosales, Rodríguez, Alvarado, & Cárdenas, 2003, p.69).

2.4.1. Sistema de inmersión temporal (SIT)

Son sistemas semiautomatizados aplicados en la propagación in vitro. Está basado en el contacto intermitente del medio de cultivo líquido con los explantes por un corto período de tiempo y la consecuente renovación de la atmósfera gaseosa. El éxito en su uso radica principalmente en el régimen de inmersiones a los que se someten las plantas, siendo esencial controlar variables tales como el tiempo que las plantas estarán en contacto con el medio de cultivo, así como la frecuencia con las que estas inmersiones tienen lugar. (Orellano, J, Dellagiovanna, A, Imanishi, L, Mazzone, V, & Faedo, N, 2016, p.2).

Los métodos disponibles para la propagación de plantas in vitro son, en su mayoría, una extensión de aquellos desarrollados para la propagación vegetativa tradicional. Sin embargo, éstos presentan una serie de ventajas sobre los métodos tradicionales, como la pequeña superficie necesaria para mantener gran cantidad de plantas, la obtención de plantas libres de bacterias y hongos, la posibilidad de obtener plantas libres de virus, y la posibilidad de producir plantas durante todo el año. Adicionalmente, las tasas de propagación son mayores que en los sistemas convencionales, lo que permite obtener una gran cantidad de plantas en corto tiempo.

En los últimos años, el cultivo in vitro ha presentado un desarrollo exponencial. No obstante, la masificación del uso de este sistema y su implementación a gran escala se han visto limitados por factores como: mutaciones en las plantas propagadas, pérdida de material por contaminación interna o externa, vitrificación y oxidación fenólica y, principalmente, por el alto costo de la mano de obra con relación al costo total de las plantas. La tasa a la cual los cultivos in vitro crecen y producen yemas durante la micropropagación pueden estar influenciadas por la naturaleza física del medio. Según esta característica, existen tres tipos de medios en los que se puede

realizar un cultivo in vitro: semisólido, líquido y en sistemas de inmersión temporal. (Ministerio de agricultura de Chile, 2009, p.7).

2.4.2. El medio de cultivo

Consiste en una mezcla de determinadas sustancias sobre o dentro del cual crecen los explantes. Para su uso, el medio de cultivo se esteriliza ya sea en autoclave o por filtración a través de filtros de papel miliporosos. Para mantener la viabilidad de un cultivo de tejidos, estimular su diferenciación y regular su crecimiento, éste requerirá de una dieta balanceada de nutrientes y hormonas.

Los medios de cultivo son combinaciones de sustancias químicas que los investigadores han descrito después de numerosos experimentos y que permiten que las plantas crezcan y se multipliquen in vitro. Los ingredientes de un medio de cultivo vegetal pueden clasificarse en: sales inorgánicas (minerales, compuestos orgánicos, preparaciones naturales complejas y materiales inertes. (Vázquez, Orozco, Rojas, Sánchez, & Cervantes, 1997, p.8).

Cultivo en medio semisólido

Son aquellos a los cuales se les ha agregado un agente gelificante y son ampliamente usados en el establecimiento de explantes. El agar es el agente solidificante más utilizado. El explante se mantiene estático sobre el medio, con sólo uno de sus extremos en contacto por donde se realiza la absorción de nutrientes. Aunque se usa ampliamente, este medio presenta una serie de desventajas como: la baja tasa de multiplicación en algunas especies y cultivares, la necesidad de cambiar el medio periódicamente por el agotamiento de nutrientes, y la necesidad de lavar el agar de las raíces antes de trasladar las plántulas al sustrato.

Cultivo en medio líquido

La utilización de este sistema da como resultado mayores tasas de crecimiento que en medios semisólidos, debido a la mayor superficie de contacto del explante con el medio

y a las menores gradientes de difusión entre el medio y el explante, lo que facilita la absorción de nutrientes. Sin embargo, la inmersión continua de los tejidos provoca síntomas de stress por oxidación y vitrificación. En la Tabla 7 se muestra un ejemplo de composición de medio líquido.

Tabla 7 Composición del medio de cultivo a utilizar en la multiplicación de Ananas comosus.

Sales de macronutrientes (mg·L ⁻¹)	Sales de micronutrientes (mg·L ⁻¹)	
NH ₄ NO ₃	1650	KI 0.83
KNO ₃	1900	H ₃ BO ₃ 6.2
CaCl ₂ ·2H ₂ O	440	MnSO ₄ ·4H ₂ O 22.3
MgSO ₄ ·7H ₂ O	370	ZnSO ₄ ·7H ₂ O 8.6
KH ₂ PO ₄	170	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O 0.25
		CuSO ₄ ·5H ₂ O 0.025
		CoCl ₂ ·6H ₂ O 0.025
		Na ₂ ·EDTA 37.3
		FeSO ₄ ·7H ₂ O 27.8

Fuente: Ministerio de agricultura de Chile, 2009, p.8.

Las ventajas de mantener un cultivo en un SIT incluyen tres aspectos: un mayor contacto entre la biomasa vegetal y el medio, la inexistencia de restricciones en el intercambio gaseoso y la posibilidad de controlar la composición del medio, así como la de la atmósfera dentro del biorreactor. Estas características se reflejan en mayores tasas de multiplicación y en un mejor desarrollo de los explantes; por ejemplo, en estudios realizados con frutilla Don y manzana Gala se observó un aumento de 85 y 131% en la tasa de multiplicación, respectivamente. (Ministerio de agricultura de Chile, 2009, p.8).

Mediante la Ecuación 1, se determina la tasa de multiplicación del cultivo. Después de haber culminado el tiempo de incubación de los hijuelos, los cuales son réplicas de las plantas que nacen en la base de los tallos, se determina la tasa de multiplicación (TM) expresada en una razón del número promedio de material obtenido de hijuelos o

unidades propagativas por biorreactor (NHF) entre el número de material parental sembrado (NHI):

$$TM = NHF / NHI$$

Ecuación 1. Tasa de multiplicación

Para desarrollar un método de micropropagación eficiente en sistemas de inmersión temporal es esencial optimizar los parámetros técnicos para cada cultivo, siendo el tiempo y la frecuencia de inmersión los parámetros más críticos del sistema.

2.4.2.1. Tipos de sistemas de inmersión temporal (SIT)

Existen distintos tipos de sistemas de inmersión temporal dependiendo del tipo de recipiente utilizado y sistema de intercambio.

Sistema RITA

El sistema RITA (Recipiente de inmersión temporal automatizada) está compuesto por un frasco (ver Figura 5) único donde el compartimento superior contiene los explantes y el compartimento inferior contiene el medio de cultivo líquido. Están unidos entre sí, de modo que cuando se aplica una sobrepresión en el compartimento inferior, el medio se empuja al superior; cuando la sobrepresión cae, el medio líquido regresa al compartimento inferior. En consecuencia, los cultivos en el compartimento superior se sumergen temporalmente cuando el compartimento superior se inunda con el medio líquido, cuya frecuencia y período de tiempo pueden regularse (Parr.7). (https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal).



Figura 5. Frasco aplicado en un SIT RITA.

Fuente: https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal.

En la Figura 6 se puede observar el ciclo del medio de cultivo en un sistema tipo RITA.

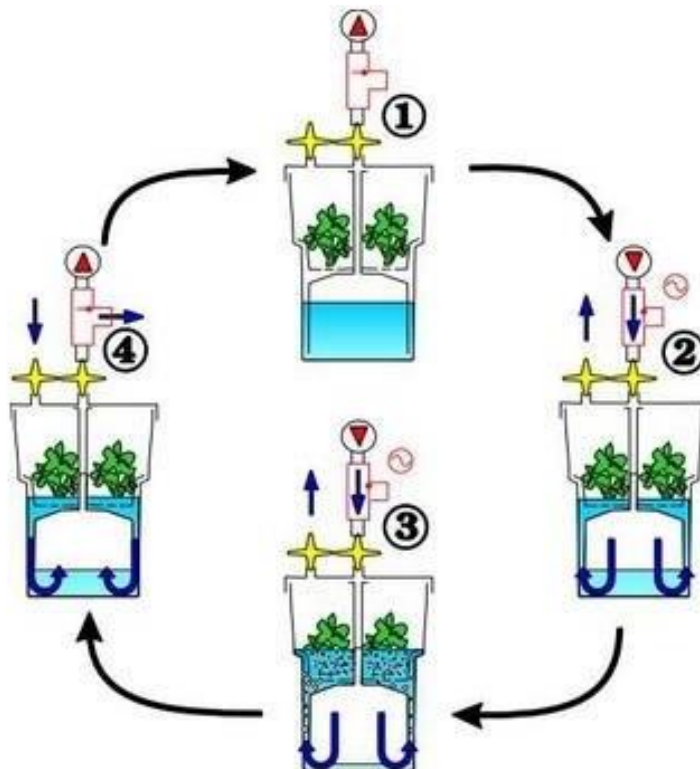


Figura 6. Sistema de inmersión temporal tipo RITA.

Fuente: https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal.

Sistema Twin-Flask

Los sistemas Twin-Flask (BIT) están integrados por un contenedor para plantas en crecimiento y un reservorio para el medio líquido como se muestra en la Figura 7. Cuando se abre una válvula solenoide y se gira el aire comprimido el medio de cultivo es forzado en el primer matraz, sumergiendo las plantas. El proceso se invierte cuando se abre otra válvula solenoide y la presión del aire regresa el medio de cultivo al depósito original (Parr.6).

El sistema de vasos gemelos ha sido ampliamente utilizado en todo el mundo por su sencilla replicación y manipulación. El primer estudio realizado en vasos gemelos fue en el Centro de Bioplasmas de Cuba, de ahí proviene el nombre de “BIT cubano”, donde se utilizó el sistema de vasos gemelos para la multiplicación de brotes de pila. En dicho estudio se pudo concluir que los explantes que fueron cultivados en el SIT tuvieron una tasa de multiplicación más alta que los cultivados con métodos convencionales, obteniendo valores de entre el 300% y 400% comparado con los métodos convencionales (Parr.7). (https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal).



Figura 7. Sistema de inmersión temporal tipo Twin-Flask.

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=6mSGtLzlcUg>.

El ciclo de un sistema Twin-Flask se muestra en la Figura 8.

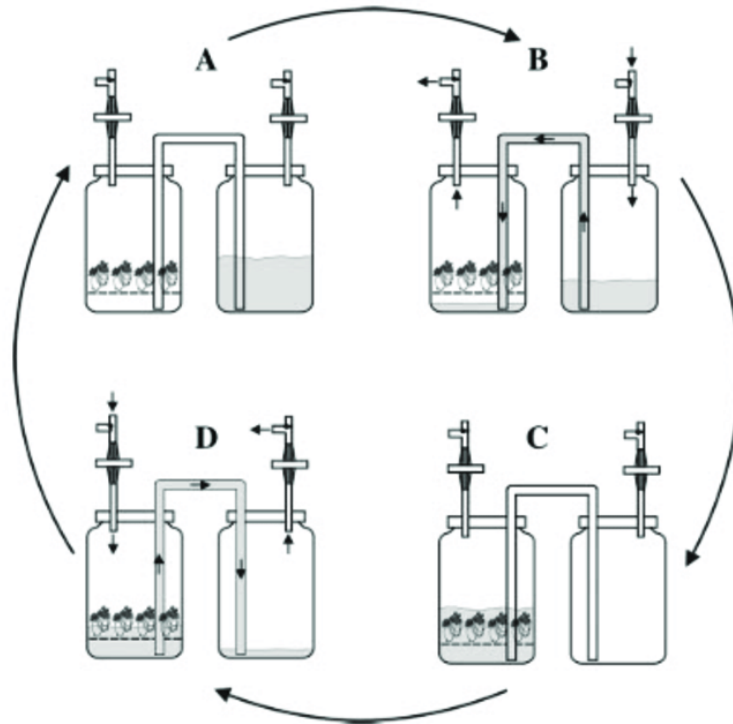


Figura 8. Ciclo de un sistema de inmersión temporal tipo Twin-Flask.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Principio-operativo-de-un-sistema-de-inmersi%C3%B3n-temporal-SIT-A-El-medio_fig1_336014121.

Sistema de frascos Nalgene

Se aplicó este principio a un sistema de filtración de frascos Nalgene (Figura 9), reutilizable al conectar cada uno de los dos compartimentos con un tubo equipado con un filtro de 22 μm , a través del cual se aplica presión para impulsar el medio cultivo al compartimento superior que alberga los explantes. La salida en la parte superior del recipiente permite que escape la presión y el aire que entra al recipiente se filtra a través de un filtro de jeringa estéril (Parr.8). (https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal).

En la Tabla 8 se muestran algunos resultados obtenidos empleando frascos Nalgene.

Tabla 8 Composición del medio de cultivo a utilizar en la multiplicación de Ananas comosus.

Tratamientos	Coefficiente de Multiplicación	Diámetro del pseudotallo (cm)	Grado Oxidación	Hojas Activas	Altura (cm)
15 días	5,16 b	0,84 b	2,50 a	2,99 b	1,18 b
18 días	8,15 a	0,99 a	2,16 b	3,03 a	1,46 a
21 días	8,04 a	0,97 a	2,60 a	3,01 a	1,42 a
25 días	8,12 a	0,97 a	2,62 a	3,00 a	1,43 a
ES ±	0,29*	0,03 *	0,10 *	0,13 *	0,06 *
CV (%)	10,45	15,49	12,84	14,06	11,89

Letras desiguales dentro de cada columna difieren para $p < 0,05$ según prueba de Tukey.

Fuente: https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal.



Figura 9. Ejemplo de un sistema de inmersión temporal con frascos Nalgene.

Fuente: <https://docplayer.es/docs-images/67/57560049/images/53-3.jpg>.

Sistema Plant form

Es fabricado en policarbonato transparente con el tamaño de 180x160x150 mm (ver Figura 10). Una cesta con orificios de 1 mm de tamaño se coloca sobre una cámara que controla el flujo del medio. Esta cesta sostiene el material vegetal. Un marco con cuatro patas se coloca sobre la canasta para evitar que la canasta suba cuando se aplica presión de aire al biorreactor. La construcción y la colocación de la cesta se realizan de manera que las plantas solo se sumergen en el medio líquido cuando se aplica presión de aire al

biorreactor. Además, el biorreactor tiene tres orificios para suministro de medio, aireación y ventilación. Los tornillos huecos especialmente diseñados provistos de sellos de silicona están ajustados firmemente dentro de los orificios. Conectados a estos tornillos están los tubos flexibles de plástico Tygon, con un diámetro interno de 3,2 mm, y filtros de politetrafluoroetileno (PTFE) de 0,22 μm (Parr.9). (https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal).



Figura 10. Ejemplo de un sistema de inmersión temporal tipo Plant form.

Fuente: https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal.

Sistema SETIS

Este sistema consta de dos recipientes horizontales acoplados uno sobre el otro con una capacidad de 3 L (ver Figura 11). Cada uno presenta una abertura de 80 mm con empaques de silicón y tapas de rosca, se conectan entre sí por una manguera en la parte inferior del recipiente. En sus extremos superiores, un orificio conectado a un filtro permite la entrada de aire estéril (Parr.10). (https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal).



Figura 11. Ejemplo de un sistema de inmersión temporal SETIS.

Fuente: https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal.

En la Figura 12 se muestra una gráfica de ejemplo de eficiencia de 3 tipos de sistemas de inmersión temporal distintos.

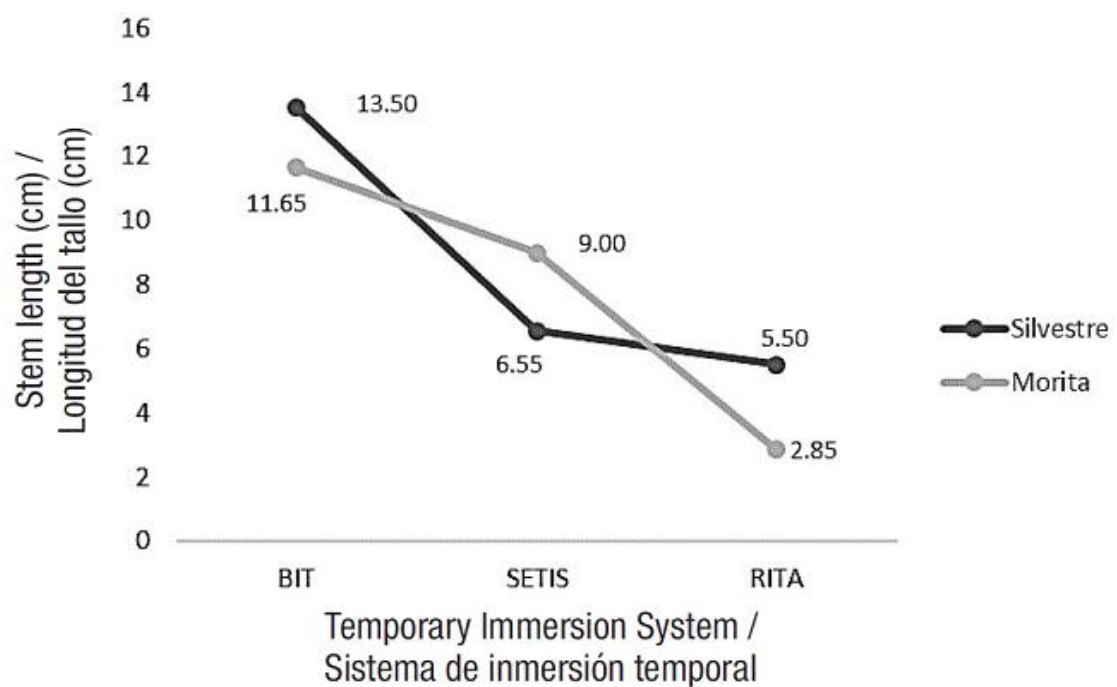


Figura 12. Eficiencia de los sistemas temporales BIT, SETIS y RITA para Stevia.

Fuente: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/609/60958460006/fg6.png>.

2.4.3. Cultivos seleccionados para esta tesis

2.4.3.1. Arándano

El arándano (ver Figura 13), conocido bajo el nombre científico *Vaccinium myrtillus*, es un fruto que crece silvestre en zonas frescas del hemisferio norte. Es una baya globosa de color negro azulado que mide unos 6mm de diámetro. Se consume sobre todo en mermeladas, tartas o como acompañamiento de diversos platos. Es un alimento rico en vitaminas que además aporta pocas calorías al organismo. Los arándanos frescos resultan beneficiosos frente a diversos problemas gastrointestinales. El extracto seco combate diversas afecciones cardiovasculares y unas cápsulas de arándano que se comercializan son beneficiosas para problemas de la vista.

El arándano es un fruto que crece silvestre en zonas frescas del hemisferio norte. Es una baya globosa de color negro azulado que mide unos 6 mm de diámetro. Se consume sobre todo en mermeladas, pasteles o como acompañamiento de diversos platos. Es un alimento rico en vitaminas A y C, y aportan muy pocas calorías, ya que contienen pocas grasas y proteínas. Son ricos en antocianos, sustancias que tienen efectos beneficiosos sobre el aparato digestivo. Su pulpa es aromática, jugosa y de sabor ácido. Contiene numerosas semillas pardas de pequeño tamaño- En la parte superior tienen una pequeña corona que lo distingue de la grosella negra (Parr.1). (<https://www.frutashortalizas.com/Frutas/Presentacion-Arandano.html>).



Figura 13. Arándanos.

Fuente: <http://www.upsocl.com/verde/7-sorprendentes-beneficios-de-los-arandanos-que-desconocias/>

Debido a un componente que contiene, aumenta la acidez de la orina y no permite que se desarrollen las bacterias en este medio, resultando efectivo para evitar la inflamación de la vejiga urinaria, para prevenir la cistitis, para los problemas de riñones, para

los problemas de próstata, uretra y para todos los problemas asociados con el tracto urinario en general (Parr.4). (<https://www.elpaonline.com/index.php/sociales2/item/243506-el-arandano-ayuda-a-cuidar-los-rinones>).

Los arándanos son frutas con escasos hidratos de carbono y ricas en vitamina C. También son ricas en potasio, hierro y calcio, pero, lo más característico, son sus antocianos y carotenoides, pigmentos naturales de acción antioxidante.

El arándano es un cultivo que requiere un determinado número de horas-frío (temperatura inferior a 7°C) para salir de la latencia, que depende de la especie. Para el desarrollo del cultivo del arándano, el rango óptimo de temperatura oscila entre 16-25°C. No obstante, puede llegar a tolerar temperaturas de hasta -30°C, aunque temperaturas de 28-30°C acompañadas de vientos secos, pueden provocar daños en el fruto como arrugamientos y quemaduras.

Durante la floración, temperaturas inferiores a -5°C pueden provocar daños en los frutos. Por esta razón, la ocurrencia de heladas durante la floración resulta muy perjudicial. Con respecto a la humedad, el cultivo del arándano requiere de humedad relativa alta. Requiere de suelos ligeros, con buena capacidad de drenaje y alto contenido en materia orgánica. Además, se debe mantener la humedad alta, pero sin llegar al encharcamiento, ya que es sensible tanto a asfixia radicular como a sequía (Parr.23).

En cuanto al pH, éste debe ser ácido, siendo el rango óptimo el comprendido entre 4,3-4,8. Un pH superior a 5 puede provocar un desarrollo deficiente en plantaciones jóvenes junto con una brotación clorótica. Sin embargo, un pH bajo (pH<4) puede dar lugar a toxicidades por manganeso. El pH se debe mantener acidificando el agua de riego. Los suelos calizos no son aconsejables para este cultivo (Parr.25). (https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_arandano.asp)

Composición por 100gr de porción comestible:

- Calorías: 30,1
- Hidratos de carbono: 6,9g
- Fibra: 1,8g

- Potasio: 88mg
- Magnesio: 0,5mg
- Provitamina A: 12mcg
- Vitamina C: 17mg
- Vitamina E: 5mg

Entre algunos tipos de arándanos, existen las variedades O'Neill, Brigitta y Duke entre otras. En las Figuras 14, 15 y 16, se muestra la evolución comparativa de concentración de nitrógeno, potasio y calcio respectivamente, de las variedades previamente mencionadas.

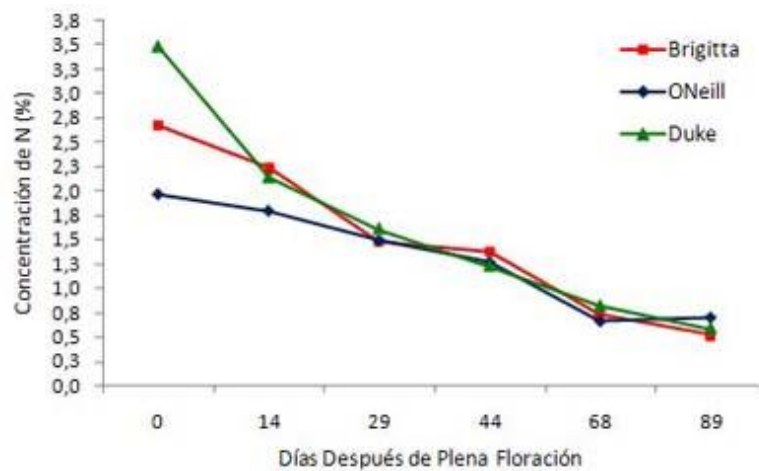


Figura 14. Evolución comparativa de la concentración de nitrógeno (N).

Fuente: http://www.redagricola.com/cl/assets/uploads/2017/03/f4_nut-arandano.jpg

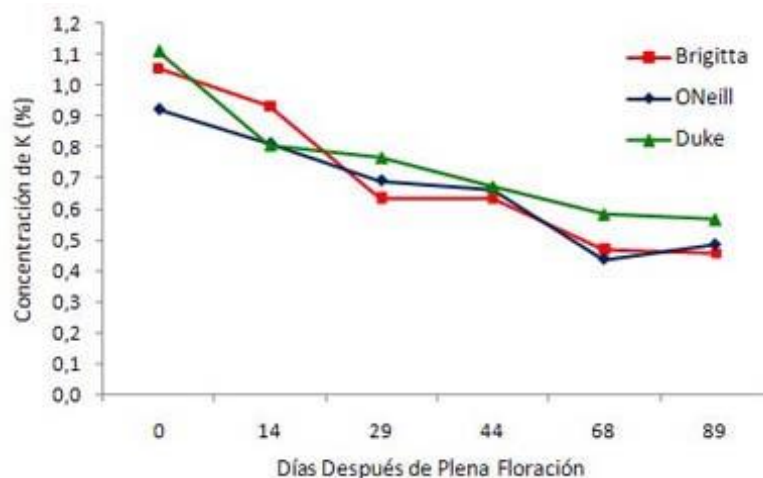


Figura 15. Evolución comparativa de la concentración de potasio (K).

Fuente: http://www.redagricola.com/cl/assets/uploads/2017/03/f5_nut-arandano.jpg

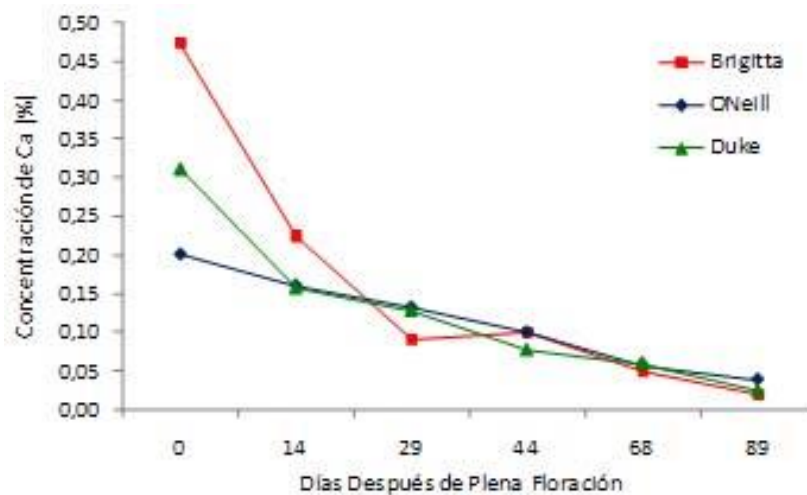


Figura 16. Evolución comparativa de la concentración de calcio (Ca).

Fuente: http://www.redagricola.com/cl/assets/uploads/2017/03/f6_nut-arandano.jpg.

En la Tabla 9, se observa el valor nutricional del arándano.

Tabla 9 Valor nutricional del arándano.

Contenido por 100 gramos de sustancia comestible (valores aproximados, pueden existir ligeras variaciones en función del origen y variedad analizada)	
Agua (g)	87,4
Proteínas (g)	0,3
Fibras (g)	1,7
Calorías (kcal)	42
Vitamina A (UI)	30
Vitamina B ₁ (mg)	0,0014
Vitamina B ₂ (mg)	0,0024
Vitamina B ₆ (mg)	0,012
Vitamina B ₉ (mg)	12
Ácido nicotínico (mg)	0,2
Ácido pantotónico (mg)	12
Sodio (mg)	2
Potasio (mg)	72
Calcio (mg)	14
Magnesio (mg)	6
Manganeso (mg)	0,5
Hierro (mg)	0,5
Cobre (mg)	0,26
Fósforo (mg)	10
Cloro (mg)	4

Fuente: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_arandano.asp.

2.4.3.2. Piña

La anana comosus o piña (ver Figura 17), es un fruto que crece en una planta de distintivas hojas. Es una de las frutas más típicas de las regiones tropicales, y la principal especie comestible de la familia de las bromeliáceas. El nombre “piña” se deriva de su parecido con los frutos de los pinos, mientras que de su nombre científico Ananas proviene del tupí nanas, que significa “fruta excelente”, y comosus significa “copetudo”, evidentemente por la disposición de las hojas alrededor de tallo.

El fruto de ananas comosus es realmente una agrupación de frutos pequeños, llamada sincarpo. Este se produce después de que las flores individuales maduran, de modo que los ovarios de ellas aumentan su grosor y, al estar muy cerca entre sí, se sueldan y forman un único fruto de alrededor de 30 centímetros de largo. Está protegido por una corteza dura y cerosa compuesta por unidades hexagonales de color verde, amarillo o rojizo, que anteriormente fueron los sépalos y las brácteas de las flores individuales que se modificaron con la unión de los frutos (Parr.3).

En la parte superior sobresale un tallo corto y grueso del que se desarrollan en espiral 30 o más hojas largas, duras, fibrosas y con bordes aserrados, que miden de 10 a unos 100 centímetros de longitud (a veces hasta 150 centímetros). La superficie de las hojas está recubierta con una finísima capa de pelillos muy cortos y de color plateado que las protege de la luz solar. El color es verde claro con toques de rojo, violeta o amarillo (Parr.4). (<https://www.bioenciclopedia.com/pina/>)

La piña es la tercera fruta tropical más importante en la producción mundial después del plátano y cítricos. El 70% de la piña producida en el mundo es consumida como fruta fresca en el país de origen, aunque también se consume procesada en mermeladas, yogures y enlatados.

En el Perú, la piña ocupa el 10° lugar en importancia económica entre los frutales cultivados. A nivel nacional existen 14,289 Ha sembradas con una producción 14840,7 kg/ ha. En la selva central se cultiva las variedades comerciales: Cayena lisa, Golden, Hawaina, Samba Chanchamayo y Lagarto. Todas destinadas para el mercado regional y nacional.



Figura 17. Piña.

Fuente: <https://www.bioenciclopedia.com/pina/>

Los problemas que se presentan en la producción de las especies frutales como la piña, son muchos y generalmente se presentan en diferentes etapas, eso hace que el productor busque mejorar la calidad de la planta mediante el uso de plantas micropropagadas.

La piña presenta mayor demanda en la economía peruana, su producción se concentra principalmente en la selva central, y es también catalogado como un cultivo alternativo para sustituir las áreas de cultivo de hoja de coca utilizadas en mayor parte por él. Es por ello que la producción de semilla básica de calidad en este cultivo es de gran importancia agrícola, económica y social. La gran importancia económica que tiene, ha impulsado la investigación biotecnológica en cultivo de tejidos, donde se ha logrado el mejoramiento de la producción, tasa de crecimiento, plantas libres de patógenos, etc. (Llanos, C, 2015, p.5).

Se consideran como temperaturas óptimas de conservación, de 10-13°C (50-55°F) para piñas parcialmente maduras y de 7-10°C (45-50°F) para piñas maduras. La humedad relativa adecuada para la conservación del cultivo es entre 85% y 90%. (https://www.infagro.com/frutas/frutas_tropicales/pina.htm).

Reproducción

La planta de la piña se propaga vegetativamente, o sea, se reproduce asexualmente. Los encargados de los cultivos pueden cortar coronas de la planta madre y plantarlas días después directamente en tierra o remojarlas en agua para que echen raíces. Hijuelos y acodos también son estructuras usadas para plantar la piña. Una vez que la planta madura comienza a desarrollar flores, pero generalmente la época de floración no es exacta. En ocasiones se usan hormonas vegetales para que la planta las desarrolle y pueda producir frutos. En general, estos aparecen cuando la planta tiene unos 3 años de edad. Cada planta requiere una fórmula de macronutrientes y micronutrientes para desarrollar el medio líquido de cultivo. En la Tabla 10 se muestran los micronutrientes y macronutrientes que se utilizan para reproducir piña.

Tabla 10 Tabla de macronutrientes y micronutrientes para reproducir piña

MACRONUTRIENTES	mg/L
1.- NH ₄ NO ₃	0,1650
2.- KNO ₃	0,1900
3.- CaCl ₂ .2H ₂ O	0,440
CaCl ₂ .6H ₂ O	0,655
4.- MgSO ₄ .7H ₂ O	0,370
5.- KH ₂ PO ₄	0,170
	1 L
MICRONUTRIENTES	mg/L
1.- MnSO ₄ .4H ₂ O	15,6
MnSO ₄ .H ₂ O	8,45
2.- ZnSO ₄ .7H ₂ O	8,6
3.- H ₃ BO ₃	6,2
4.- KI	0,83
5.- NaMoO ₄ .2H ₂ O	0,25
6.- CuSO ₄ .5H ₂ O	0,025
7.- CoCl ₂ .6H ₂ O	0,025
8.- FeSO ₄ .7H ₂ O	27,8
9.- Na ₂ EDTA.2H ₂ O	37,3

Fuente: https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/pina.htm.

Usos de la piña

La piña tiene un delicioso sabor dulce y ácido. Se disfruta fresca, en jugos, en postres y hasta en platillos de pollo, pescado u otras carnes. Los nativos americanos preparaban (y preparan) bebidas alcohólicas y otras conocidas como chicha y guarapo. Quizá la más famosa bebida alcohólica a base de *Ananas comosus* es la piña colada, un coctel preparado con la pulpa de la fruta y mezclado con crema de coco, ron y otros ingredientes. En Filipinas, la pulpa se deja fermentar y luego con ella se prepara una salsa para carne. El salvado de piña, obtenido al extraer el jugo, es alimento para ganado, y las flores jóvenes pueden cocerse o comerse crudas (Parr.12).

La pulpa de la piña es muy rica en vitamina C, manganeso y fibra dietética. También contienen una cantidad pequeña de tiamina, folato y vitamina B6. La bromelina, una enzima, tiene propiedades antiinflamatorias, por lo que a veces se usa como remedio para mejorar la digestión. La bromelina se comercia como ablandador de carnes e ingrediente de algunos cosméticos; se está investigando su aplicación en el tratamiento de algunos males del cuerpo humano. Hay que tener cuidado con el fruto, ya que la bromelina puede producir náuseas, diarrea, erupciones cutáneas y afectar el feto (Parr.13).

De las hojas de la piña se obtiene una fibra fuerte de delicada textura que aún se utiliza en lugares como Brasil y Filipinas. Por otra parte, *Ananas comosus* puede sembrarse como planta ornamental. Después de los plátanos y los cítricos, la piña es el tercer fruto tropical más cultivado (Parr.13). (<https://www.bioenciclopedia.com/pina>).

2.4.4. Las semillas

La semilla (ver Figura 18) es el principal órgano reproductivo de la gran mayoría de las plantas superiores terrestres y acuáticas. Ésta desempeña una función fundamental en la renovación, persistencia y dispersión de las poblaciones de plantas, la regeneración de los bosques y la sucesión ecológica. En la naturaleza la semilla es una fuente de alimento básico para muchos animales. También, mediante la producción agrícola, la semilla es esencial para el ser humano, cuyo alimento principal está constituido por

semillas, directa o indirectamente, que sirven también de alimento para varios animales domésticos.

La semilla es uno de los principales recursos para el manejo agrícola y silvícola de las poblaciones de plantas, para la reforestación, para la conservación del germoplasma vegetal y para la recuperación de especies valiosas sobreexplotadas. Las semillas pueden almacenarse vivas por largos periodos, asegurándose así la preservación de especies y variedades de plantas valiosas.

La ciencia de las semillas se ha desarrollado a lo largo de muchos años, acumulándose hasta la fecha un importante volumen de conocimientos acerca de muchos aspectos de su biología y manejo. Existen numerosas publicaciones científicas y técnicas en este campo y se conocen con detalle varias características de la biología de las semillas de las plantas cultivadas más importantes, y de algunos árboles de valor forestal; sin embargo, las semillas de las plantas tropicales y subtropicales no han corrido con igual suerte y su estudio se ha quedado muy rezagado.

Como parte del estudio de las plantas es necesario intensificar la investigación de las semillas, sus características fisiológicas, sus mecanismos de latencia y germinación, su longevidad (ecológica y potencial) y su posible uso para la propagación y conservación de las plantas. (Vázquez, Orozco, Rojas, Sánchez, & Cervantes, 1997, p.4).

Origen de la semilla

La semilla es una unidad reproductiva compleja, característica de las plantas vasculares superiores, que se forma a partir del óvulo vegetal (ver Figura 19), generalmente después de la fertilización. Se encuentra en las plantas con flores (angiospermas) y en las gimnospermas. En las angiospermas los óvulos se desarrollan dentro de un ovario; en tanto que en las gimnospermas la estructura que los contiene es muy diferente, pues no constituye una verdadera

flor; sin embargo, la estructura de las semillas de estas plantas es básicamente similar a la de las plantas con flores.



Figura 18. Semillas.

Fuente: <https://worldhealthdesign.com/wp-content/uploads/2014/04/Como-comer-semillas-variedad-de-semillas.jpg>.

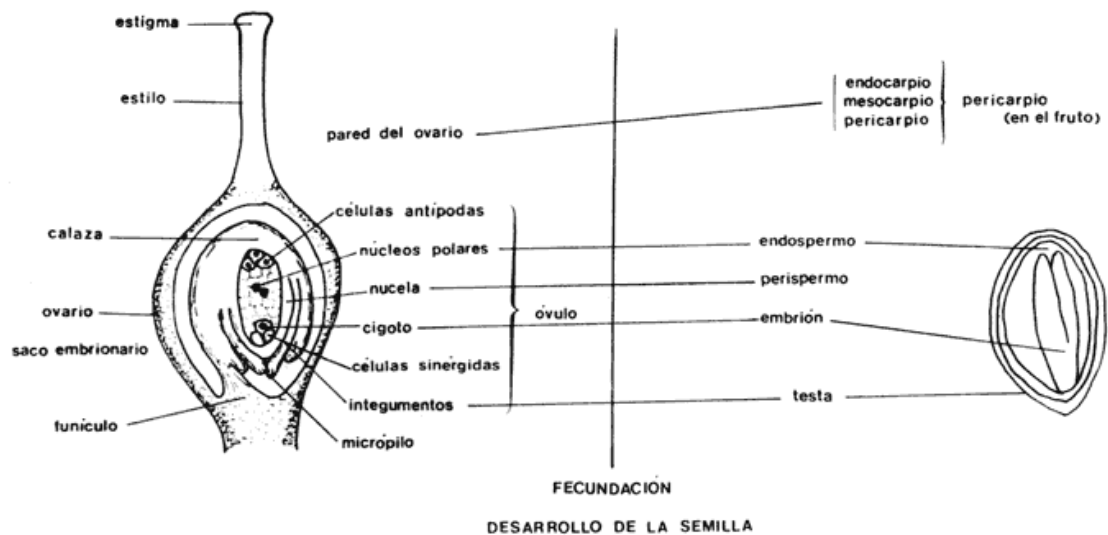


Figura 19. Estructura del ovario de una flor.

Fuente: La reproducción de las plantas: Semillas y meristemos, 1997, p.5.

Para entender la ontogenia de la semilla, es decir, su formación y desarrollo, se requiere cierto conocimiento de la estructura de las flores y de los órganos reproductivos masculinos y femeninos. En términos generales, las flores consisten de varias capas de hojas modificadas que constituyen, de afuera hacia adentro, los sépalos, los pétalos, los estambres y el ovario. Hay grandes variaciones entre especies en la forma, tamaño y disposición de estas estructuras. Hay también plantas que producen flores con sexos separados, ya sea masculinas con estambres o femeninas con ovarios. Los estambres producen granos de polen que contienen los gametos masculinos, y el ovario contiene los óvulos que producirán a las semillas. Los óvulos de las plantas superiores son estructuras pluricelulares, relativamente complejas. En su interior, el óvulo contiene al saco embrionario y éste a su vez contiene varias células haploides, no claramente delimitadas, cuyo número varía entre los diferentes grupos taxonómicos.

Al arribar el polen al pistilo, que es el órgano femenino, se produce la polinización, con la consecuente formación del tubo polínico, que desciende por el estilo hacia el óvulo. El tubo polínico lleva dos núcleos haploides: el gameto masculino que se fusionará con el núcleo del saco embrionario que funciona como cigoto o huevo, para originar un nuevo organismo diploide, y otro que se fusionará con los dos núcleos polares del saco embrionario para

formar un tejido triploide, el endospermo. Este proceso se conoce como doble fecundación (Figura 20). Tanto la estructura de estos órganos como la doble fecundación, que caracteriza a las plantas, son complejas y escapa a los objetivos de este libro; sin embargo, están descritas con mucho detalle en los textos de botánica. (Vázquez, Orozco, Rojas, Sánchez, & Cervantes, 1997, p.5).

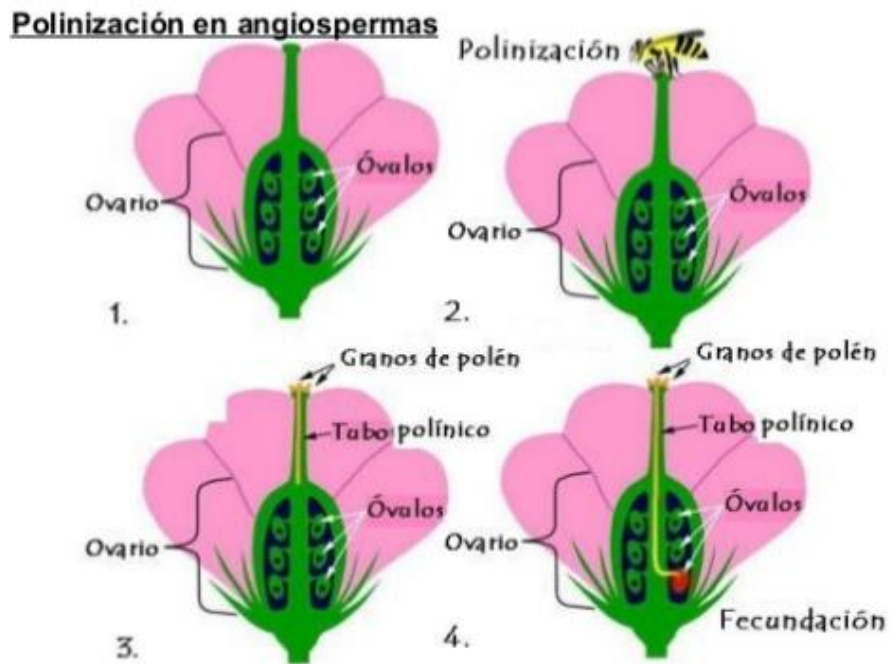


Figura 20. Polinización en agiospemas.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/tema1-131008152039-phpapp01/95/tema-1-la-semilla-14-638.jpg?cb=1381245816>.

Calidad de la semilla

El objetivo es obtener plantas de crecimiento vigoroso y aspecto normal. Se le llama valor real al número de semillas que son capaces de germinar teniendo en cuenta la pureza y el poder de germinación. Se mide en porcentaje (ver Ecuación 2). La pureza se mide en porcentaje y mide la cantidad de semillas sin cuerpos extraños, tierra, etc. Por ejemplo, si tenemos 100 semillas y 4 son extrañas, la pureza es de 96%.

Se determina el poder de germinación cuando se dividen la cantidad de semillas que germinan entre el total de semillas en estudio. Por ejemplo, si 90

de 100 semillas logran germinar, esto significa que el poder de germinación es de 90%. (Torre, I, 2013, p.40).

$$\text{Valor real} = \frac{\text{Pureza del lote} \times \text{Capacidad germinativa}}{100}$$

Ecuación 2. Valor real.

Por ejemplo, si tenemos un lote de semillas con el 94% de pureza y el 90% de poder de germinación, su valor real será:

$$\text{Valor real} = 94 \times 90 / 100 = 84,6$$

2.4.5. La propagación vegetativa

A diferencia de lo que sucede en los vertebrados, la semilla es liberada cuando aún sus tejidos no se han diferenciado totalmente. La semilla contiene células embrionarias que darán origen a todos los tejidos de la nueva planta después del proceso de germinación; además, muchas de las células de los tejidos vegetales ya maduros conservan la potencialidad de diferenciarse y dar origen a diversas estructuras; estas células forman parte de meristemos primarios y secundarios que pueden encontrarse en todos los órganos de las plantas. Gracias a esto es posible obtener plantas enteras a partir de tejidos de yemas, tallos, raíces y hasta hojas de casi cualquier planta. (Vázquez, Orozco, Rojas, Sánchez, & Cervantes, 1997, p.6).

La propagación clonal o vegetativa (ver Figura 21) de plantas es una producción a partir de partes vegetativas. Se utilizan tejidos vegetales que conserven la potencialidad de multiplicación y diferenciación celular para generar nuevos tallos y raíces a partir de cúmulos celulares presentes en diversos órganos. Este tipo de propagación tiene esencialmente tres variantes, que son: 1) la micropropagación a partir de tejidos vegetales en cultivo in vitro; 2) la propagación a partir de bulbos, rizomas, estolones, tubérculos o

segmentos (esquejes) de las plantas que conserven la potencialidad de enraizar, y 3) la propagación por injertos de segmentos de la planta sobre tallos de plantas receptoras más resistentes.

La propagación vegetativa comprende desde procedimientos sencillos, conocidos de tiempos inmemoriales por los campesinos de todo el mundo, hasta procedimientos tecnológicamente muy avanzados, basados en la tecnología del cultivo de tejidos vegetales, mediante los cuales se puede lograr la propagación masiva de plantas genéticamente homogéneas, mejoradas y libres de parásitos. Los procedimientos modernos permiten la obtención de cultivares totalmente libres de agentes patógenos, incluyendo virus, e incluso la fabricación de semillas artificiales por medio de la técnica de embriogénesis somática y encapsulado. Además de la propagación, las técnicas de cultivo de tejidos in vitro también permiten seguir procedimientos modernos de conservación de germoplasma gracias al mantenimiento prolongado de cultivos de crecimiento lento y la criopreservación de tejidos. (Vázquez, Orozco, Rojas, Sánchez, & Cervantes, 1997, p.6).

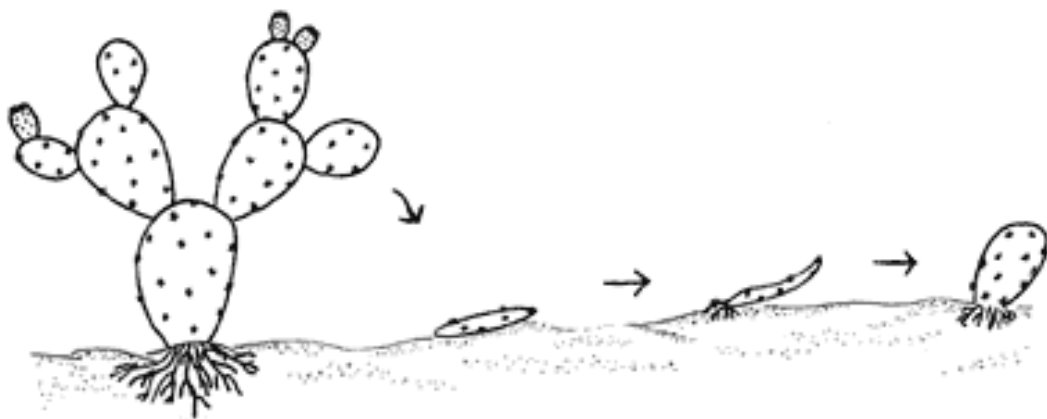


Figura 21. Propagación clonal.

Fuente: Vázquez, Orozco, Rojas, Sánchez, & Cervantes, 1997, p.6.

Estructuras de propagación vegetativa

Varias especies de plantas vasculares, en su mayoría especies cultivadas, no producen semillas, aunque tengan flores, su multiplicación o propagación vegetativa no implica la fusión de células germinativas. Esta forma de

propagación también se presenta en plantas que normalmente producen semillas, y sólo se le considera como reproducción asexual cuando sustituye en gran parte a la reproducción sexual.

Se trata de un proceso que implica el enraizamiento y la separación de una parte de la planta original cuando mueren los tejidos vegetales que las semillas unían. De esta manera, las células, tejidos u órganos desprendidos se desarrollan directamente en nuevos individuos. Las zonas de abscisión pueden ser precisas, como sucede en la separación de los bulbilos, o puede darse la fragmentación de una planta debida al deterioro y muerte del individuo parental o bien de los tejidos de interconexión, como en el caso de los brotes de las raíces.

Las estructuras de propagación vegetativa funcionan también como órganos de resistencia y de almacenamiento en las temporadas adversas, los cuales algunas veces son almacenados por tiempos prolongados. (Vázquez, Orozco, Rojas, Sánchez, & Cervantes, 1997, p.6).

2.4.6. Automatización

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

La parte operativa

Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera (Parr.3).

La parte de mando

Suele ser un autómeta programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema automatizado, el autómeta programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado (Parr.4). (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>).

Sistema de control

Es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados.

Existen dos clases comunes de sistemas de control, sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. En los sistemas de control de lazo abierto la salida no interviene en la acción de control; mientras que en los de lazo cerrado si se va a requerir conocer la salida para ejercer el control del sistema. Un sistema de lazo cerrado es llamado también sistema de control con realimentación (Parr.2).

Sistema de lazo abierto

Es aquel sistema en el cual la salida no tiene efecto sobre el sistema de control, esto significa que no hay realimentación de dicha salida hacia el controlador para que éste pueda ajustar la acción de control (Parr.6).

- Ejemplo 1: Una lavadora "automática" común, ya que ésta realiza los ciclos de lavado en función a una base de tiempo, mas no mide el grado de limpieza de la ropa, que sería la salida a considerar.
- Ejemplo 2: Al hacer una tostada, se coloca el tiempo que suponemos suficiente para que el pan salga con el grado de tostado que queremos, más la tostadora no puede decidir si ya está suficientemente tostado o no.

Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil mantenimiento.
- La salida no se compara con la entrada.
- Ser afectado por las perturbaciones. Estas pueden ser tangibles o intangibles.
- La precisión depende de la previa calibración del sistema.

Sistema de control de lazo cerrado

Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida; es decir, en los sistemas de control de lazo cerrado o sistemas de control con realimentación, la salida que se desea controlar se realimenta para compararla con la entrada (valor deseado) y así generar un error que recibe el controlador para decidir la acción a tomar sobre el proceso, con el fin de disminuir dicho error y, por tanto, llevar la salida del sistema al valor deseado (Parr.8).

Sus características son:

- Ser complejos y amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada y para realizar el control del sistema.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

Un ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado sería el termotanque de agua que utilizamos para bañarnos.

Otro ejemplo sería un regulador de nivel de gran sensibilidad de un depósito. El movimiento de la boya produce más o menos obstrucción en un chorro de aire o gas a baja presión. Esto se traduce en cambios de presión que afectan a la membrana de la válvula de paso, haciendo que se abra más cuanto más cerca se encuentre del nivel máximo. Un proceso automatizado o un sistema de control se puede plasmar mediante un diagrama de bloques como el que se muestra en la Figura 22. En ella podemos visualizar los diferentes participantes en la automatización de un proceso que básicamente es

controlar y monitorear variables manipulándolas hasta conseguir los valores deseados (Parr.10). (https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control).

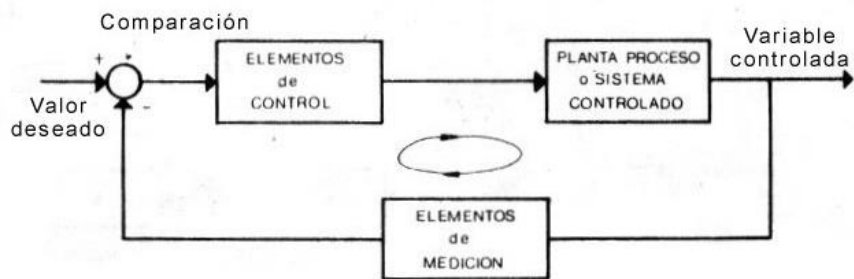


Figura 22. Diagrama de bloques de un sistema de control de lazo cerrado.

Fuente: http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Piping/Control%20de%20Procesos_archivos/f1-1.jpeg.

En la Figura 23 se puede apreciar el diagrama de bloques de un ejemplo de un sistema automatizado para la producción de papel.

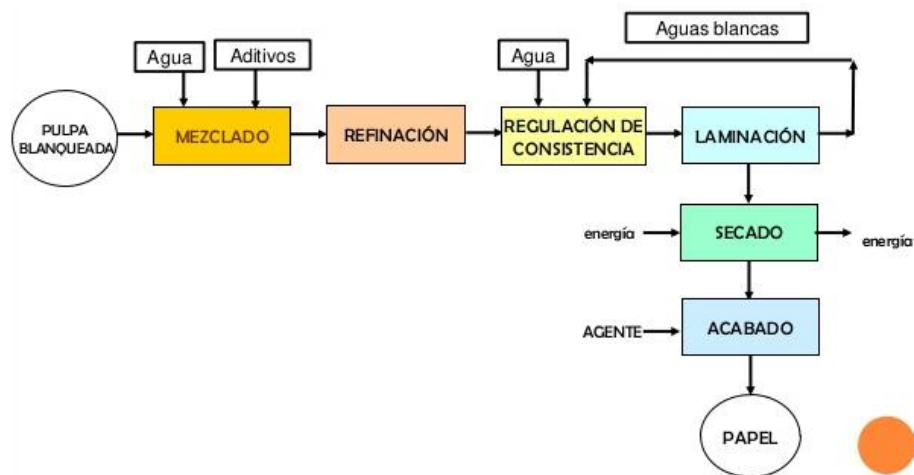


Figura 23. Ejemplo de un diseño de un diagrama de bloques del funcionamiento de los sistemas automatizados para la producción de papel.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/actividadsemana1-140220134026-phpapp01/95/sistemas-de-automatizacion-17-638.jpg?cb=1392903695>.

2.4.6.1. Objetivos de la automatización:

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.

- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

2.4.6.2. Ventajas de la automatización

- Disminuye los costos de fabricación.
- Aumenta la eficiencia del proceso productivo.
- Agiliza la respuesta a las demandas del mercado.
- Reemplaza al hombre en trabajos de gran esfuerzo que ponen en peligro su integridad física.
- Favorece la competitividad empresarial.
- Mejora la seguridad de los procesos y la calidad del producto.
- Permite hacer un control de calidad más exacto.

2.4.6.3. Desventajas de la automatización

- Genera dependencia tecnológica.
- Requiere una gran inversión inicial.
- Falta de personal capacitado para el manejo de los equipos.
- Susceptibilidad a la obsolescencia tecnológica.
- Resistencia de los operarios al cambio.

Uno de los principales retos de la implementación de sistemas autómatas en las industrias es equilibrar el trabajo que realizan los equipos computarizados y robots, con el trabajo que ejecutan los operarios. Si bien la tecnología ayuda a optimizar los procesos y releva al hombre de algunas tareas, no lo reemplaza por completo. El error es asociar la

automatización industrial con el desempleo, pues la presencia humana es necesaria para la gestión, supervisión y control de los procesos productivos (Parr.7- 8). (<http://herramientas.camaramedellin.com.co/Inicio/Buenaspracticasesempresariales/BibliotecaProduccionyOperaciones/Automatizaciondelosprocesosindustriales.aspx>).

Diseño de un sistema de control

El diseño de sistemas de control es un ejemplo específico de diseño en ingeniería. Otra vez, el objetivo del diseño en ingeniería de control es obtener la configuración, especificaciones e identificación de los parámetros claves de un sistema propuesto para satisfacer una necesidad real.

El primer paso en el proceso de diseño consiste en establecer los objetivos del sistema. Por ejemplo, se puede decir que el objetivo es controlar la velocidad de un motor de manera precisa. El segundo paso es identificar las variables que se desean controlar (por ejemplo, la velocidad del motor). El tercer paso es escribir las especificaciones en función de la precisión que se debe alcanzar. Esta precisión de control requerida conducirá entonces a la identificación de un sensor para medir la variable controlada. (Ver Figura 24).

Como diseñadores, hay que proceder al primer intento para configurar un sistema que tenga el comportamiento de control deseado. La configuración del sistema normalmente consistirá de un sensor, el proceso bajo control, un actuador y un controlador. El siguiente paso consiste en identificar un candidato como actuador. Esto dependerá, por supuesto, del proceso, pero la actuación escogida debe ser capaz de ajustar de forma efectiva el comportamiento del proceso, por ejemplo, si se desea controlar la velocidad de rotación de un volante, se seleccionará un motor como actuador. El sensor, en este caso, deberá ser capaz de medir de manera precisa la velocidad. Se obtiene entonces un modelo para cada uno de estos elementos (Parr.3).

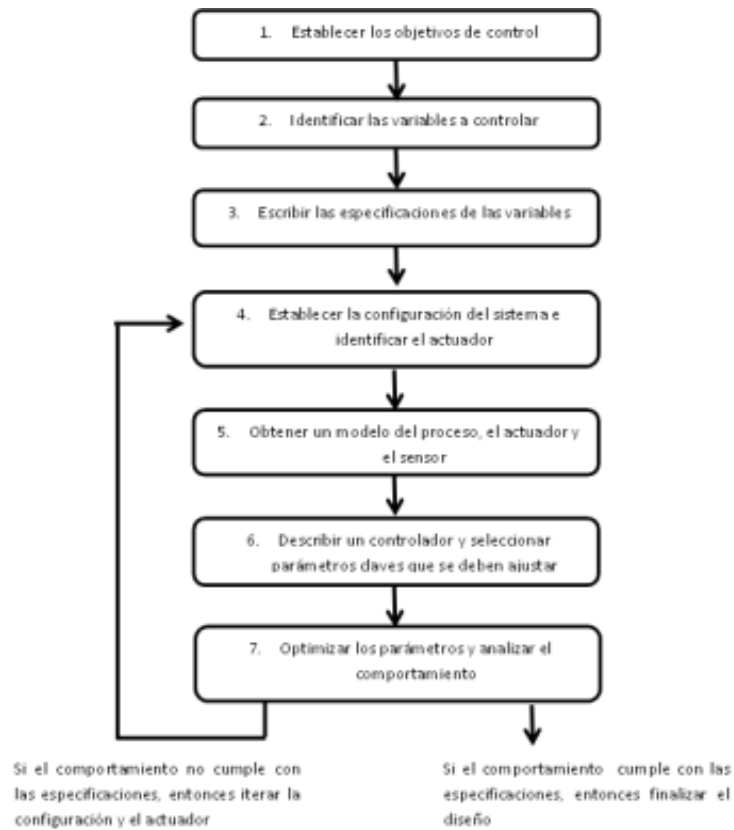


Figura 24. Proceso de diseño de un sistema de control.

Fuente: <https://gerardocubides.files.wordpress.com/2013/11/dibujo1.png>

El paso siguiente es la selección de un controlador, que con frecuencia consiste en un amplificador de suma que compensará la respuesta deseada y la respuesta real, para luego transferir esta señal de medida del error a un amplificador. El paso final en el proceso de diseño es el ajuste de los parámetros del sistema con el fin de lograr el comportamiento deseado. Si se puede conseguir el comportamiento deseado ajustando los parámetros se finalizará el diseño y se procederá a documentar los resultados. Si no es así, se necesitará establecer una nueva configuración del sistema y quizás seleccionar un actuador y un sensor mejores (Parr.4). (<https://gerardocubides.wordpress.com/disenosistemas-de-control/>).

Los sistemas de control se pueden representar de dos maneras:

- Mediante una función matemática (ver Ecuación 3) denominada Función de transferencia. La función de transferencia nos dará las variaciones de salida en

función de las variables de entrada. La ecuación matemática obtenida tendrá normalmente como variable el tiempo.

$$S = \frac{f_{out}(t)}{g_{in}(t)}$$

Ecuación 3. Función de transferencia.

- Mediante diagrama de bloques. Se representarán las operaciones del sistema mediante bloques de operaciones simples.

Estabilidad de un sistema de control

Un sistema de control es estable si ante cualquier entrada acotada, el sistema posee una salida acotada. Para comprobar la estabilidad de un sistema se tiene que analizar la función de transferencia en la ecuación 4.

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$$

Ecuación 4. Función de transferencia para analizar estabilidad.

En la Tabla 11 observamos variables y parámetros comunes que se analizan en procesos y sistemas de control con sus respectivas unidades. (<http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Piping/control%20de%20procesos.htm>)

Tabla 11 Tabla variables y parámetros de procesos.

<i>VARIABLES Y PARAMETROS DE PROCESOS</i>							
SISTEMA	CANTIDAD	POTENCIAL	CAUDAL	RESISTENCIA	CAPACITANCIA	INDUCTANCIA	
ELECTRICO	Coulomb	Volt	Ampere	ohm	Faradios	Henry	
FLUIDO	LIQUIDO	m^3	$\frac{m}{Kg_f/m^3}$	m^3/hr	$\frac{m/m^3/h}{Kg_f/m^3/m^3/h}$	m^2	$\frac{Kg_f/m^2}{m^3/n^2}$ (1)
	GAS	Kg_m	Kg_f/m^3	Kg_m/hr	$\frac{Kg_f/m^2}{Kg_m/hr}$	$\frac{Kg_m}{Kg_f/m^2}$	$\frac{Kg_f/m^2}{Kg_m/hr}$
TERMICO	Kcal	°C	Kcal/h	$\frac{°C}{Kcal/hr}$	$\frac{Kcal}{°C}$	— (2)	
MECANICO	ROTACIONAL	rad.	rad/hr	$Kg_f \cdot m$ (3)	$\frac{rad/hr}{Kg_f}$	Kg_m (4)	rad/Kgf (5)
	TRASLACIONAL	m	m/hr	Kg_f	$\frac{m/hr}{Kg_f}$	Kg_m (4)	m/Kgf (5)
QUIMICO	MASICO	Kg_m	Kg_m/m^3	$\frac{Kg_m \cdot m^3}{m^3/hr}$	$\frac{Kg_m/m^3}{Kg_m/hr}$	$\frac{Kg_m}{Kg_m/m^3}$	—
	MOLAR	mol	mol/m ³	$\frac{mol}{m^3/hr}$ m ³	$\frac{mol/m^3}{mol/hr}$	$\frac{mol}{mol/m^3}$	—

Fuente: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Piping/control%20de%20procesos.htm>.

2.4.7. Material para estructura mecánica

Para este proyecto se consideró implementar una estructura mecánica de aluminio. Las propiedades (ver Tabla 12) que hacen del aluminio un metal tan provechoso son, entre otras, su ligereza, sobre un tercio del peso del cobre o el acero, su resistencia a la corrosión (muy útil para aquellos productos que requieren de protección y conservación), su resistencia, que es un buen conductor de electricidad y calor, que no es magnético ni tóxico, que es impermeable e inodoro, y que es muy dúctil. Pero su gran atractivo, es que se trata de un metal "cien por cien reciclable", es decir, se puede recuperar indefinidamente sin que por ello pierda sus cualidades. (<http://www.indexal.com/?q=no de/32>).

Tabla 12 Tabla de propiedades del aluminio.

Propiedades Químicas	
Nombre	Aluminio
Número atómica	13
Valencia	3
Estado de oxidación	+3
Electronegatividad	1,5
Radio covalente (Å)	1,18
Radio iónico (Å)	0,50
Radio atómico (Å)	1,43
Configuración electrónica	[Ne]3s ² 3p ¹
Primer potencial de ionización (eV)	6,00
Masa atómica (g/mol):	26,9815
Densidad (g/ml):	2,70
Punto de ebullición (°C)	2450
Punto de fusión (°C)	660
Descubridor	Hans Christian Oersted en 1825

Fuente: <http://www.indexal.com/?q=node/32>.

2.4.8. Motores

Un motor (ver Figura 25) es una máquina capaz de transformar algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, aire comprimido, etc.), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.

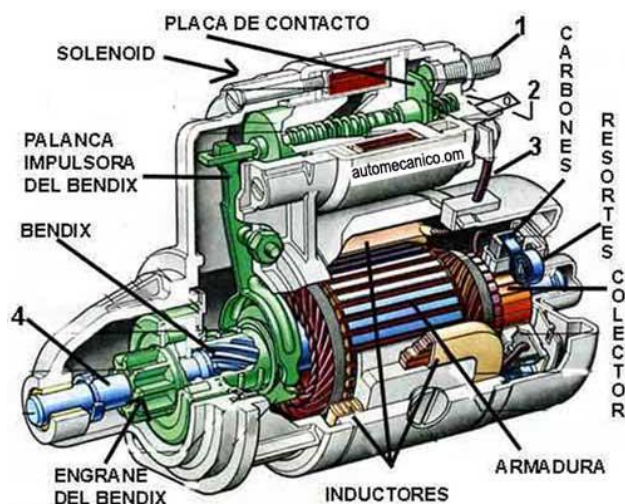


Figura 25. Motor eléctrico y sus partes internas.

Fuente: <http://automecanico.com/auto2002/arrancad11.jpg>.

Características generales de los motores

- Rendimiento: es el cociente entre la potencia útil que generan y la potencia absorbida. Habitualmente se representa con la letra griega η .
- Velocidad de poco giro o velocidad nominal: es la velocidad angular del cigüeñal, es decir, el número de revoluciones por minuto (rpm o RPM) a las que gira. Se representa por la letra n .
- Potencia: es el trabajo que el motor es capaz de realizar en la unidad de tiempo a una determinada velocidad de giro. Se mide normalmente en caballos de vapor (CV), siendo 1 CV igual a 736 vatios.
- Par motor: es el momento de rotación que actúa sobre el eje del motor y determina su giro. Se mide en $\text{kgf}\cdot\text{m}$ (kilogramo-fuerza metro) o lo que es lo mismo newtons-metro ($\text{N}\cdot\text{m}$), siendo 1 $\text{kgf}\cdot\text{m}$ igual a 9,81 $\text{N}\cdot\text{m}$. Hay varios tipos de pares, véanse por ejemplo el par de arranque, el par de aceleración y el par nominal.
- Estabilidad: es cuando el motor se mantiene a altas velocidades sin gastar demasiado combustible tanto como energía eléctrica en su correspondiente tiempo que pasa el motor sin ningún defecto, pero esto solo se hace en las fábricas donde se desarrolla el motor (Parr.5). (<https://es.wikipedia.org/wiki/Motor>).

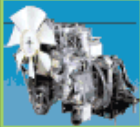


En la siguiente Tabla 13 se muestra una comparativa entre motores diésel, gas-gasolina y eléctrico aplicados en grúas horquilla.

Existen diversos tipos de motores, siendo de los más comunes los siguientes:

2.4.8.1. Motores térmicos

Son los motores en los que el trabajo se obtiene a partir de energía calórica. En la Figura 26 observamos un diagrama de clasificación de motores térmicos.

Tabla 13 Comparación tipos de motores para grúas horquilla.

TIPO MOTOR GRÚA	PESO A DESPLAZAR	USO	AMBIENTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
 <p>Diesel</p>	2500 a 8000 kg	Desplazamiento de cargas pesadas en espacios abiertos	SOLO ABIERTO	<ul style="list-style-type: none"> Desplazamiento de grandes cargas Combustible barato Sólo con el motor de CI desplazo la transmisión y el sistema hidráulico 	<ul style="list-style-type: none"> Sólo se puede usar en lugares bien ventilados Emite gran cantidad de ruido durante su funcionamiento
 <p>Gas – Gasolina</p>	1500 a 3000 kg	En bodegas bien ventiladas y de amplio espacio, pueden ser utilizadas en la industria alimenticia. SOLO para carga-descarga en lugares ventilados, NO en frigoríficos	ABIERTO O CERRADO*	<ul style="list-style-type: none"> Es el intermedio entre la carga a desplazar y el consumo Sólo con el motor de CI desplazo la transmisión y el sistema hidráulico 	<ul style="list-style-type: none"> Emite gases contaminantes Excesivo consumo de combustible Al ser un sistema dual hace mas compleja la mantención
 <p>Eléctrico</p>	800 a 1600 kg	Es la indicada para trabajos en frigoríficos, industria alimenticia, lugares poco ventilados y pasillos angostos	CERRADO	<ul style="list-style-type: none"> No contamina No emite ruido Bajo mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> Desplazamiento de carga limitado Demasiado tiempo de recarga de las baterías

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Motor>

Motor de combustión interna

Los motores de combustión interna, son motores térmicos en los cuales se produce una combustión del fluido del motor, transformando su energía química en energía térmica, a partir de la cual se obtiene energía mecánica. El fluido motor antes de iniciar la combustión es una mezcla de un comburente (como el aire) y un combustible, como los derivados del petróleo y gasolina, los del gas natural o los biocombustibles.

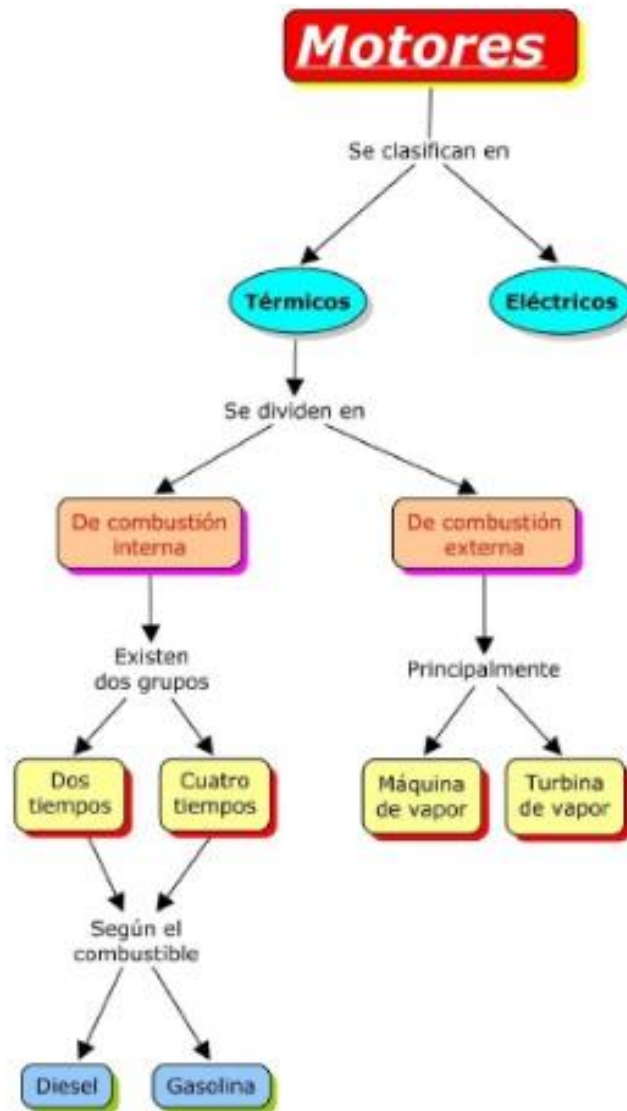


Figura 26. Clasificación motores térmicos.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/motorestrmicos-100210025429-phpapp02/95/motores-trmicos-2-728.jpg?cb=1265773600>.

Existen dos grupos de motores de combustión interna, de dos tiempos y de cuatro tiempos.

- En el motor de 2 tiempos (ver Figura 27) el cambio de gases se dirige mediante el pistón, no como en el de 4 tiempos que es por válvulas. El pistón en su movimiento varía las circunstancias de compresión del cárter y el cilindro que completan el ciclo (ver Figura 28).

1er tiempo: Compresión y Aspiración: El pistón ascendente comprime la mezcla de aire, combustible y algo de aceite en el cilindro y simultáneamente crea un vacío en el cárter

que el final de la carrera del pistón, este deja libre la lumbrera de aspiración o preadmisión que llena el cárter con mezcla carburada de gasolina (Parr.8).

2º tiempo: Explosión y escape de gases: Mediante una chispa provocada por la bujía se incendia la mezcla comprimida, creando una explosión que empuja el pistón con gran fuerza hacia abajo. En el cárter la mezcla es precomprimida por el pistón descendente, en el momento preciso el pistón deja libre el canal de escape o lumbrera de escape en el cilindro por donde salen los gases de escape de este y poco después la lumbrera de carga que conecta el cárter con el cilindro, por lo que la mezcla precomprimida pasa por este llenando el cilindro y expulsando los últimos restos de los gases de escape quedando preparado el cilindro para un nuevo ciclo de dos tiempos (Parr.9). (https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_dos_tiempos).

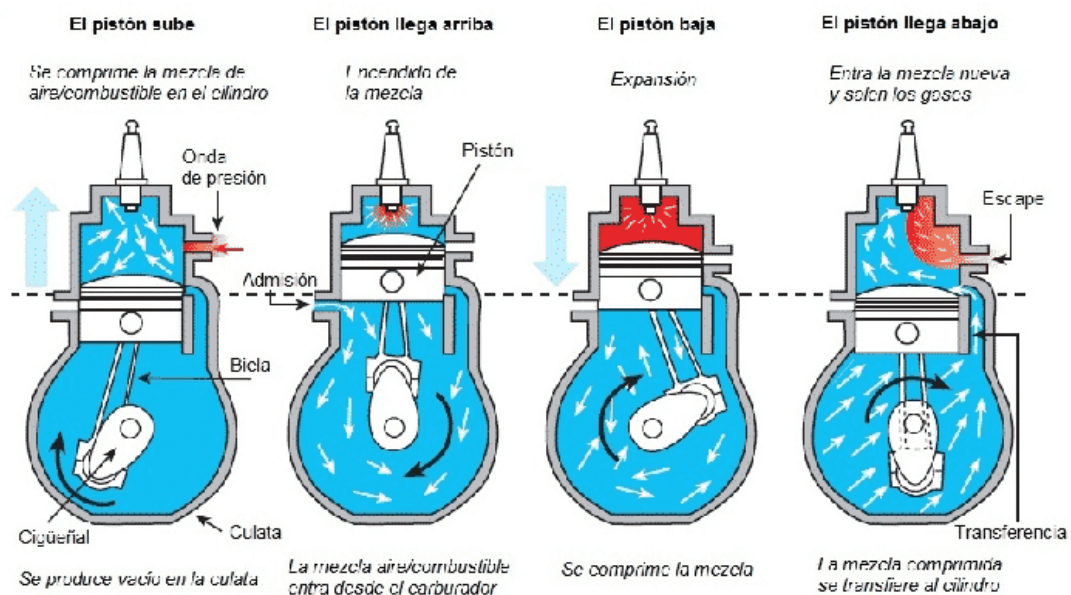
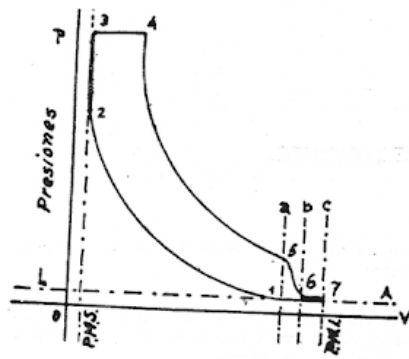


Figura 27. Funcionamiento motor de dos tiempos.

Fuente: <https://www.mundodelmotor.net/wp-content/uploads/2017/08/3-7.png>

DIAGRAMA TEORICO P.V. DE CICLO DE 2 TIEMPOS



lumbra de escape para comenzar la compresión.

En la figura se puede estudiar el funcionamiento de un motor de 2 tiempos; a c indica la posición de la lumbrera de escape; b c la lumbrera de admisión.

La curva 1-2 muestra el aumento de presión durante la compresión; la línea 2-3 muestra el rápido aumento de presión durante la primera parte de la combustión; 3-4 es la continuación de la combustión a presión constante; 4-5 la expansión de los gases de la combustión; en el 5 comienza el escape de los gases con la caída de presión hasta el punto 6 donde se le agrega la admisión de aire y l barrido correspondiente; en el punto 7, continua la carga de aire hasta el punto 6. En punto 1 se cierra la

Figura 28. Ciclo de motor de dos tiempos explicado.

Fuente: https://3.bp.blogspot.com/-ctGe_a0G7lk/WOVZzlGxCYI/AAAAAAAAAB60/CufwAr3-cVEjBME7_wICNz70KClzQuEVgCLcB/s640/2.png.

- Un motor de cuatro tiempos (ver Figura 29) es un motor de combustión interna alternativo tanto de ciclo Otto (ver Figura 30) como ciclo del diésel, que precisa cuatro carreras del pistón o émbolo (dos vueltas completas pero del cigüeñal) para completar el ciclo termodinámico de combustión. Estos cuatro tiempos son: admisión, compresión, combustión o explosión o expansión y escape (Parr.1). (https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_tiempos).

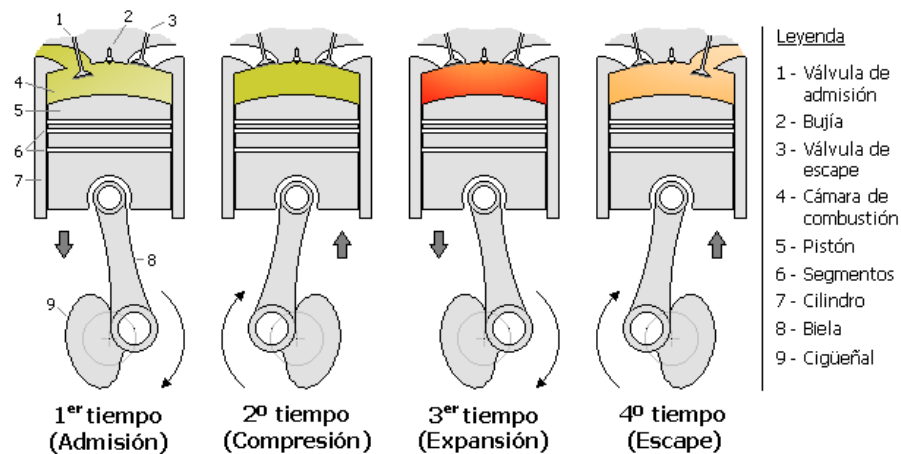


Figura 29. Funcionamiento de motor de 4 tiempos explicado.

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Ciclo_de_cuatro_tiempos.png.

Primer tiempo o admisión: en esta fase el descenso del pistón aspira la mezcla aire combustible en los motores de encendido provocado (MEP) o el aire en motores de encendido por compresión (MEC). La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta. En el primer tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas da 90° . La válvula de admisión se encuentra abierta y la carrera que realiza el pistón es descendente (Parr.3).

Segundo tiempo o compresión: al llegar al final de la carrera inferior, la válvula de admisión se cierra, comprimiendo el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón. En el 2º tiempo el cigüeñal da 360° y el árbol de levas da 180° , y además ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es ascendente (Parr.4).

Tercer tiempo o explosión/expansión: al llegar al final de la carrera superior el gas ha alcanzado la presión máxima. En los motores de encendido provocado o de ciclo Otto salta la chispa en la bujía, provocando la inflamación de la mezcla, mientras que en los motores diésel, se inyecta a través del inyector el combustible muy pulverizado, que se autoinflama por la presión y temperatura existentes en el interior del cilindro. En ambos casos, una vez iniciada la combustión, esta progresa rápidamente incrementando la temperatura y la presión en el interior del cilindro y expandiendo los gases que empujan el pistón. Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo. En este tiempo el cigüeñal gira 180° mientras que el árbol de levas gira 90° respectivamente, ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es descendente (Parr.5).

Cuarto tiempo o escape: en esta fase el pistón empuja, en su movimiento ascendente, los gases de la combustión que salen a través de la válvula de escape que permanece abierta. Al llegar al punto máximo de carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, reiniciándose el ciclo. En este tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas gira 90° (Parr.6). (https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_tiempos).

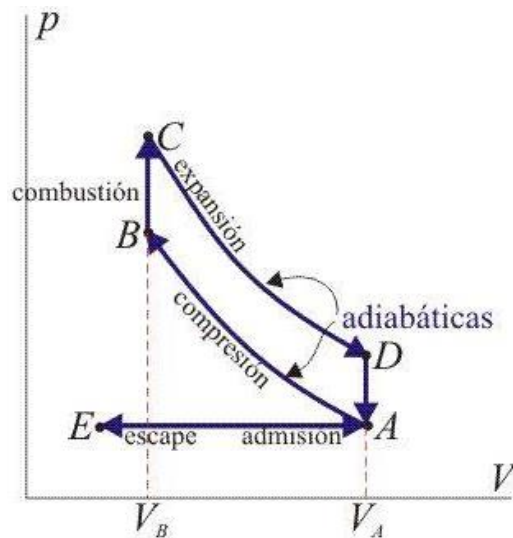


Figura 30. Ciclo de motor de dos tiempos.

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Ciclo_de_cuatro_tiempos.png.

Motor de combustión externa

Los motores de combustión externa (ver Figura 31) , son motores térmicos en los cuales se produce una combustión en un fluido distinto al fluido motor. El fluido motor alcanza un estado térmico de mayor fuerza posible de llevar es mediante la transmisión de energía a través de una pared. (<https://es.wikipedia.org/wiki/Motor>).

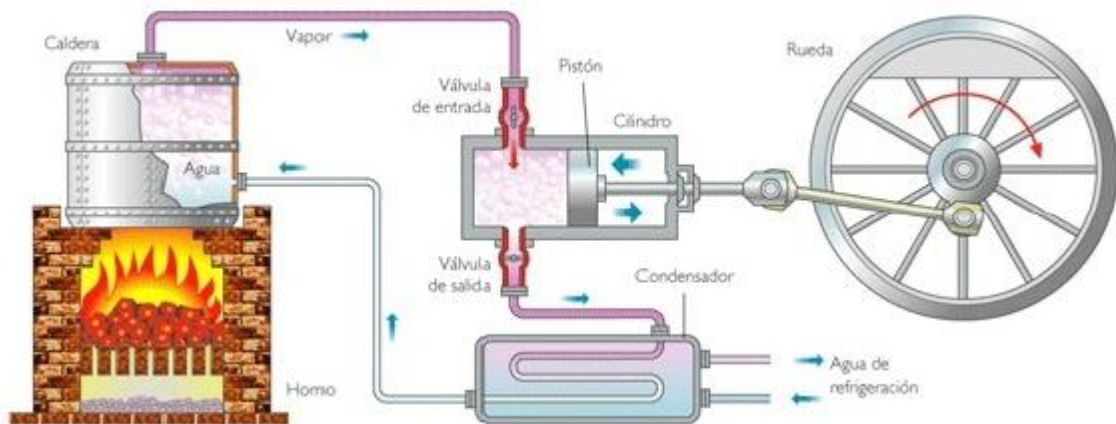


Figura 31. Motor de combustión externa.

Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/motorestmicos-100210025429-phpapp02/95/motores-trmicos-5-728.jpg?cb=1265773600>.

2.4.8.2. Motores eléctricos

El motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica de rotación por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor.

El principio fundamental que describe cómo es que se origina una fuerza por la interacción de una carga eléctrica puntual q en campos eléctricos y magnéticos es la Ley de Lorentz (ver Ecuación 5).

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Ecuación 5. Ley de Lorentz.

donde:

q : carga eléctrica puntual

\mathbf{E} : Campo eléctrico

\mathbf{v} : velocidad de la partícula

\mathbf{B} : densidad de campo magnético

Se pueden dividir en tres grandes grupos: los motores de corriente continua, los motores de corriente alterna y los motores universales.

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Los motores eléctricos de corriente continua, como su propio nombre indica trabajan con corriente continua y transforman la energía eléctrica en mecánica, generando un movimiento rotatorio mediante la acción que se genera del campo magnético. (<http://www.ventageneradores.net/blog/todos-los-tipos-de-motores-electricos/>)

En función de la forma en la que estén conectados, podemos distinguir distintos tipos de motores eléctricos:

- **Motor en serie** (ver Figura 32): En este tipo de motor eléctrico el inducido y el inductor están conectados en serie. Su voltaje es constante y el campo de

excitación se incrementa con la carga ya que la corriente es la misma que de excitación. Se caracteriza por mantener una potencia constante a cualquier velocidad. En la figura 33 se muestra la curva característica de funcionamiento de un motor serie.

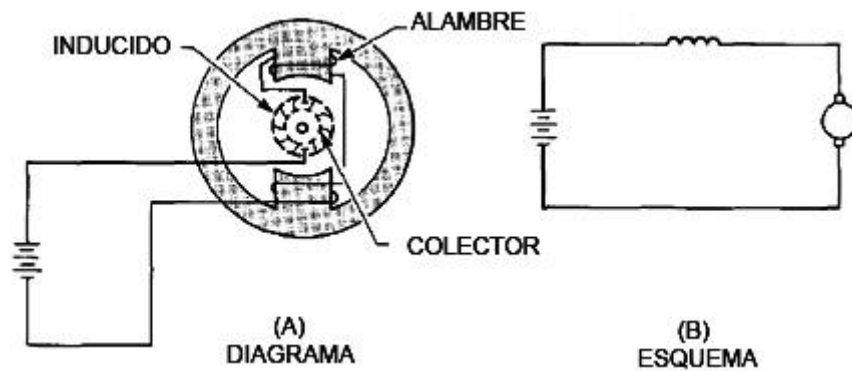


Figura 32. Diagrama y esquema de motor en serie.

Fuente: <http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/images/motor%20serie%20de%20corriente%20continua.jpg>.

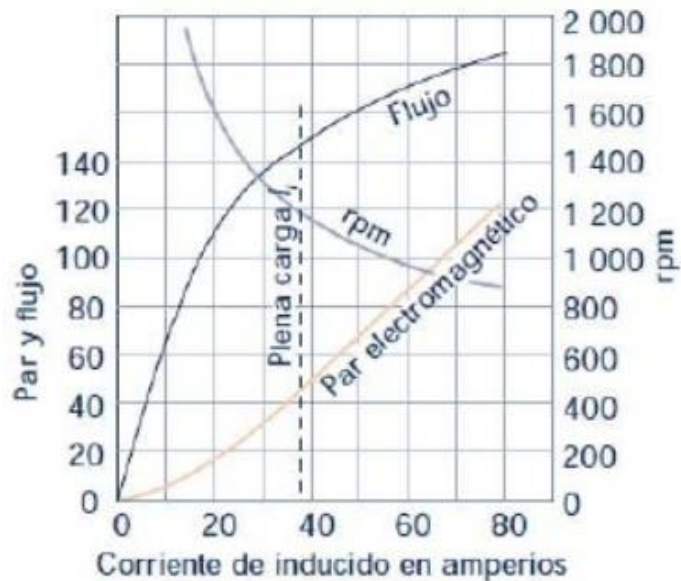


Figura 33. Curva característica de funcionamiento de un motor serie.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/sesin6-motordc-111002133733-phpapp01/95/sesin-6-motor-dc-21-728.jpg?cb=1317562814>.

- **Motor compound** (ver Figura 34): Este motor eléctrico contiene dos bobinados inductores, uno colocado en serie y otro en derivación con el circuito, que son los que producen la excitación. Se emplean cuando se precisa una respuesta estable

para un rango de velocidades amplio. En la figura 35 se muestra la curva característica de funcionamiento de un motor serie.

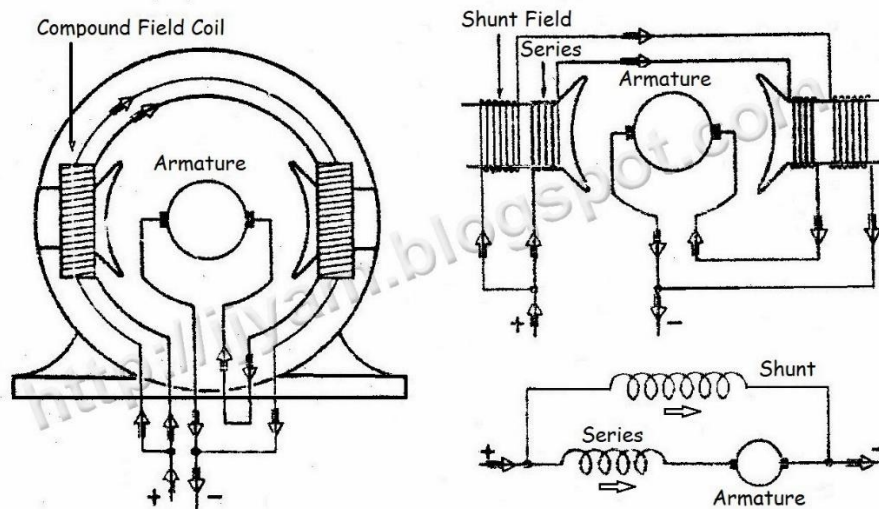


Figura 34. Diagrama y esquema de motor compound.

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/Slyxq_F5HRo/UpiivEEkWRI/AAAAAAAAAJU/XZvkKzONfaw/s1600/Connecting+Compound+Wound+DC+Motor+2.jpg.

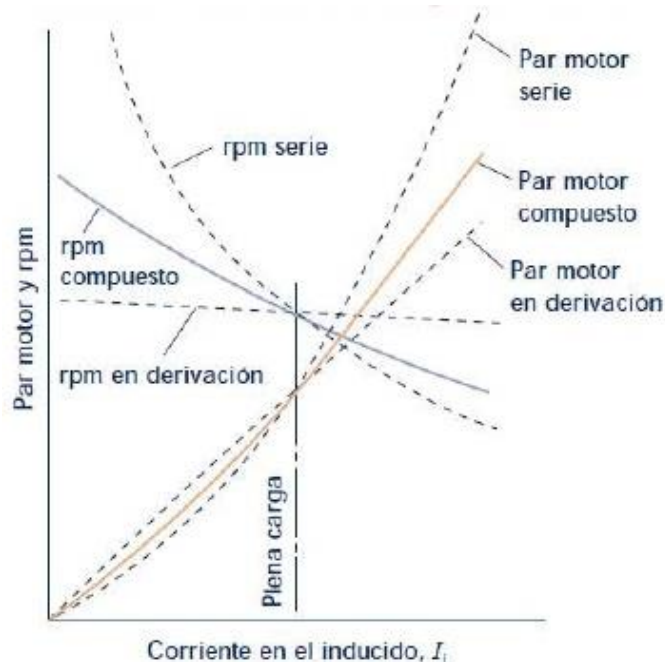


Figura 35. Curva característica de funcionamiento de un motor compound.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/sesin6-motordc-111002133733-phpapp01/95/sesin-6-motor-dc-29-728.jpg?cb=1317562814>.

- **Motor shunt** (ver Figura 36): Por su parte, este dispositivo tiene su inductor conectado en paralelo con el circuito compuesto por los bobinados inducidos.

Posee una elevada resistencia gracias a las características de sus bobinas y son los más idóneos cuando se requiere velocidad constante.

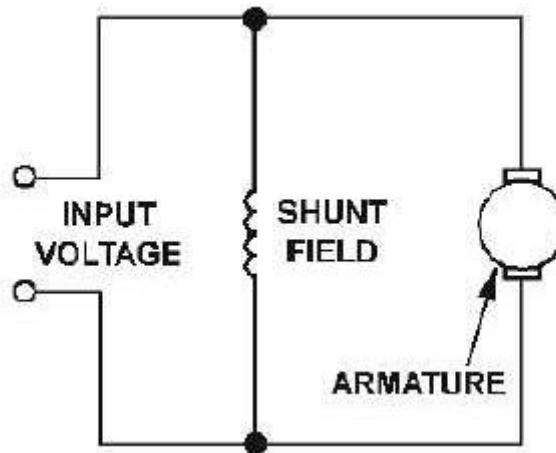


Figura 36. Esquema de motor shunt.

Fuente: http://electriciantraining.tpub.com/14177/img/14177_52_1.jpg.

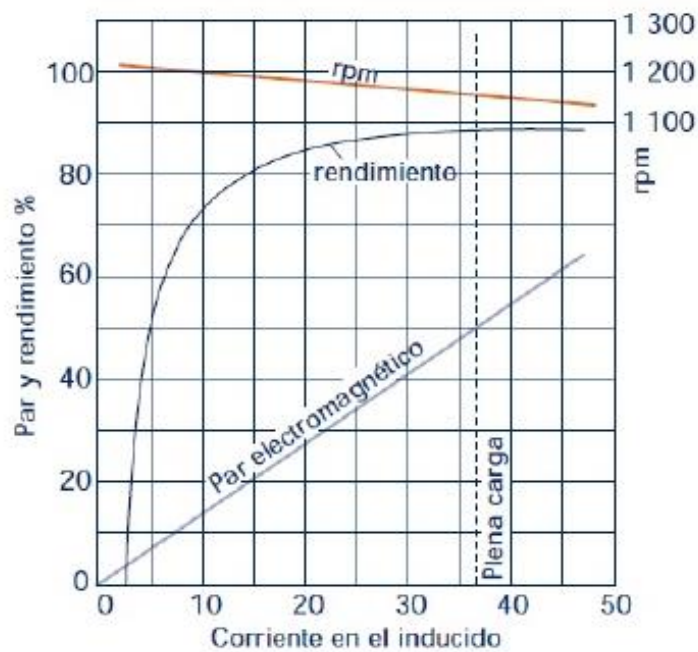


Figura 37. Curva característica de funcionamiento de un motor shunt.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/sesin6-motordc-111002133733-phapp01/95/sesin-6-motor-dc-24-728.jpg?cb=1317562814>.

En las Figuras 38, 39 y 40, se muestran respectivamente diagramas de comparación de distintos parámetros entre motores serie, compound y derivación.

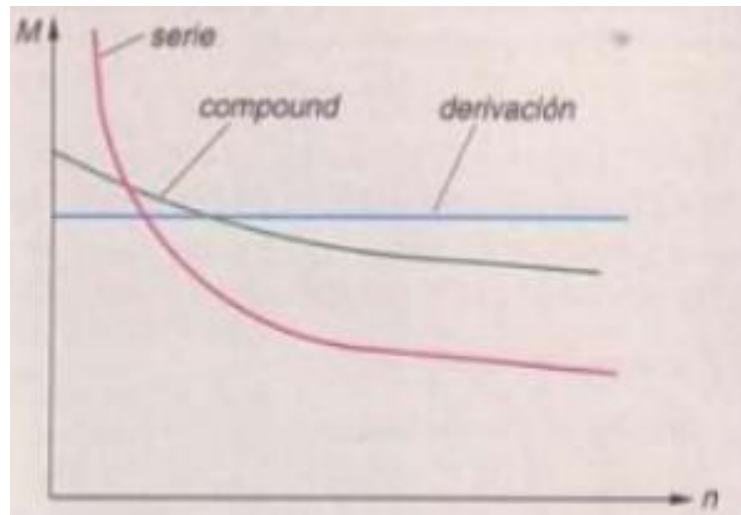


Figura 38. Característica momento-velocidad en motores serie, compound y shunt.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/t4regulacinmotorescc-170326083103/95/t4-regulacin-motores-cc-11-638.jpg?cb=1490517131>.

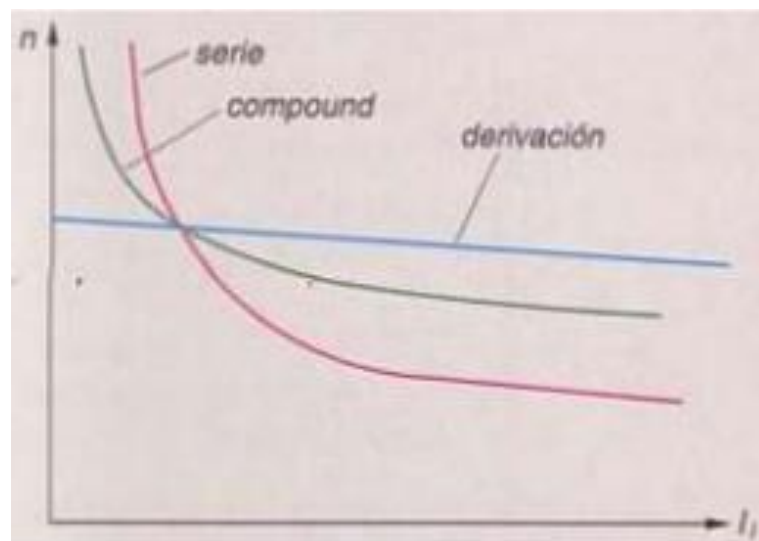


Figura 39. Característica velocidad-corriente en motores serie, compound y shunt.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/t4regulacinmotorescc-170326083103/95/t4-regulacin-motores-cc-12-638.jpg?cb=1490517131>.

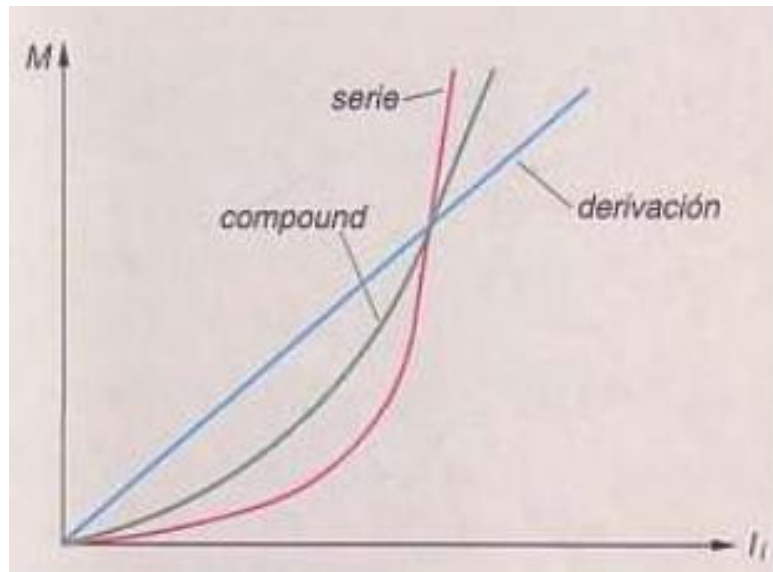


Figura 40. Característica momento-corriente en motores serie, compound y shunt.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/t4regulacinmotorescc-170326083103/95/t4-regulacin-motores-cc-13-638.jpg?cb=1490517131>.

- **Motor eléctrico sin escobillas** (ver Figura 41): El popular motor brushless no utiliza escobillas para efectuar la modificación de polaridad en el rotor. Son unos de los más comunes actualmente porque son rentables, ligeros y no precisan de mucho mantenimiento.

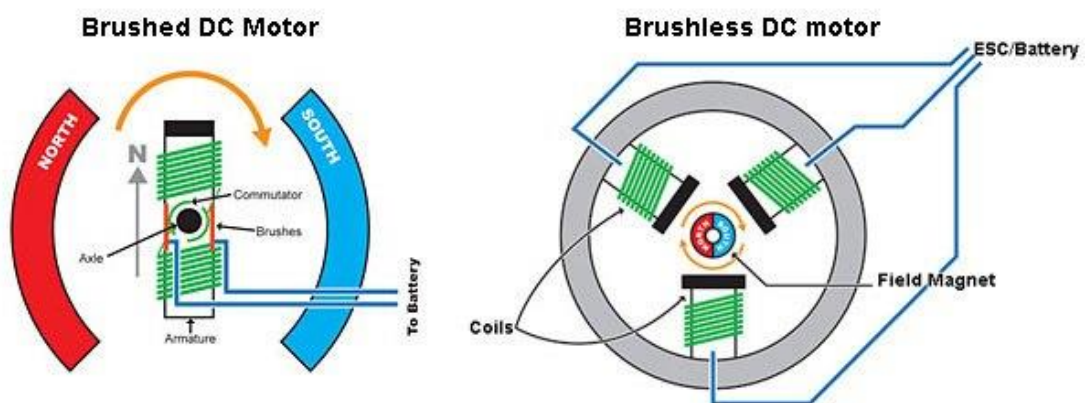
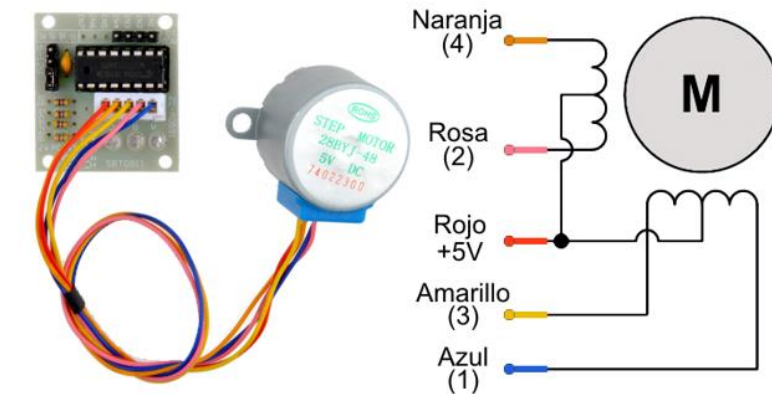


Figura 41. Diagramas de motor con escobillas y sin escobillas.

Fuente: <https://i0.wp.com/www.thinkrc.com/faq/images/brushed-brushless.jpg>.

Dentro de los motores eléctricos de corriente continua, también podemos identificar otros tipos que se emplean habitualmente en el ámbito de la electrónica:

- **Motor paso a paso** (ver Figura 42): Este motor es capaz de transformar una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, es decir, progresa una serie de grados dependiendo de sus entradas de control. Destaca por su precisión.



Secuencia de conmutación de Medio Paso

Número y color de pata	→ Dirección de la agujas del reloj (fases 1-2)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
(4) Naranja	■	■						■
(3) Amarillo		■	■	■				
(2) Rosa				■	■	■		
(1) Azul						■	■	■

Figura 42. Diagrama de control de un motor paso a paso.

Fuente: <https://i.pinimg.com/originals/e4/d1/25/e4d125f8b409045e46b974fa5c1f00bd.png>.

- **Servomotor** (ver Figura 43): Este aparato tiene la habilidad de situarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y permanecer estable en dicha posición. (<http://www.ventageneradores.net/blog/todos-los-tipos-de-motores-electricos/>)

Se requirió girar de manera precisa y controlada una rejilla con bolsas que contengan los explantes y el medio líquido. Un servomotor es un tipo especial de motor que permite controlar la posición del eje en un momento dado.

El motor en el interior de un servomotor es un motor DC. El eje del motor se acopla a una caja de engranajes similar a una transmisión. Esto se hace para potenciar el torque del motor y permitir mantener una posición fija cuando se requiera. De forma similar a un

automóvil, a menor mayor velocidad, menor torque. El circuito electrónico es el encargado de manejar el movimiento y la posición del motor.

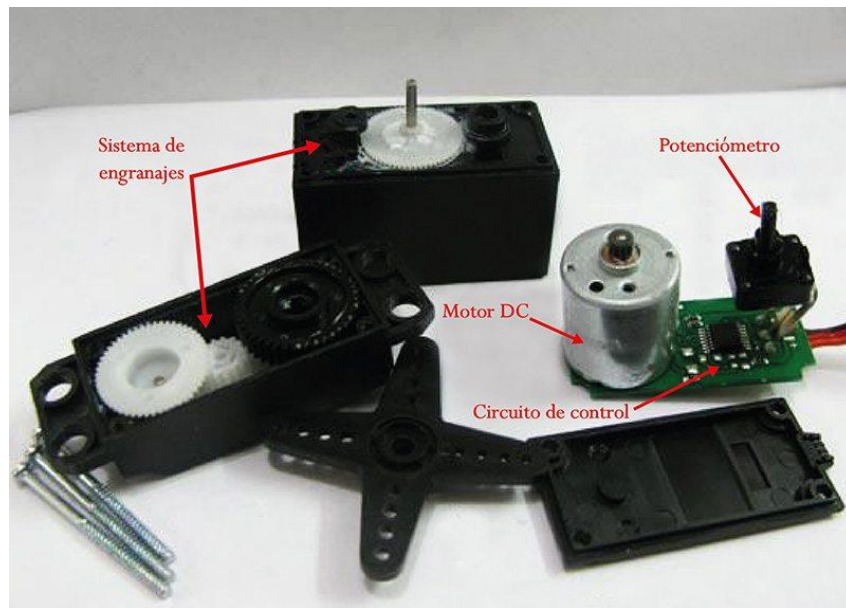


Figura 43. Partes de un servomotor.

Fuente: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor>.

La presencia del sistema de engranajes como el que se muestra en la figura hace que cuando movemos el eje motor se sienta una inercia muy superior a la de un motor común y corriente. Observando las imágenes que hemos presentado nos podemos dar cuenta que un servo no es un motor como tal, sino un conjunto de partes (incluyendo un motor) que forman un sistema (Parr. 2). (<http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor>).

Para cerrar el marco teórico sobre motores de corriente continua adjunto algunas ecuaciones (ver Ecuaciones 6 y 7) de parámetros importantes al respecto.

$$I_i = \frac{V_b - E - 2U_e}{r_i}$$

I_i = intensidad del inducido (A)

V_b = tensión del inducido (V)

E = f.c.e.m (V)

U_e = caída tensión de las escobillas (V)

r_i = resistencia del inducido

Ecuación 6. Ecuación para hallar intensidad del inducido.

$$N = \frac{V_b - r_i I_i}{K_1 \Phi}$$

N = velocidad de giro del inducido (r.p.m)

Φ = flujo por polo (Wb)

V_b = tensión aplicada al inducido

r_i = resistencia del inducido

I_i = intensidad del inducido

K_1 = constante

Ecuación 7. Ecuación para hallar intensidad del inducido.

MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

En este caso, los motores basan su funcionamiento en la obtención de un campo magnético giratorio. Dentro de este campo giratorio puede haber un electroimán, que gira a la misma velocidad que el campo. En este caso tendremos un motor síncrono (Parr.4).

Una segunda posibilidad es que dentro del campo haya un bobinado sometido a inducción, por lo que aparece una corriente eléctrica y, por tanto, la fuerza de Lorentz. El giro será más lento que el del campo giratorio, razón por la cual el motor se denomina asíncrono o

de inducción (Parr.5). (<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centroctic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna.htm>).

Los motores trifásicos presentan unas características especiales de utilización, ya que con los mismos tres cables de corriente se pueden realizar dos tipos de conexiones en el inductor:

Conexión en estrella

Un extremo de las tres bobinas se junta como se muestra en la Figura 44 y cada uno de los extremos libres se conecta a cada uno de los cables (si las tres bobinas son idénticas, las corrientes se compensan y no es necesario el conductor neutro). En este caso cada bobina del motor está sometida a la tensión U_R , U_S y U_T , que suele ser de 220 V, y por cada una circula una intensidad igual a la que circula por cada conductor:

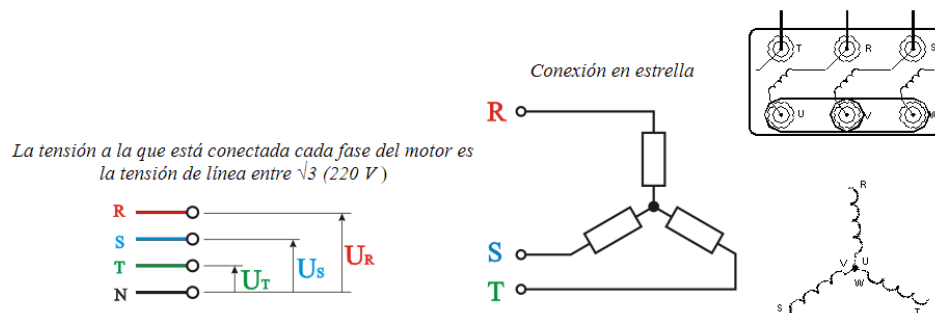


Figura 44. Conexión estrella.

Fuente: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centroctic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna.htm>.

Conexión en triángulo

Cada extremo de las tres bobinas se une al extremo de la bobina siguiente como se muestra en la Figura 45 no siendo necesario el conductor neutro. En este caso cada bobina está sometida a tensión de línea, U_{RS} , U_{ST} y U_{TR} , que suele ser de 380 V. La intensidad que circula por cada bobina es inferior a la que circula por cada conductor precisamente $\sqrt{3}$ veces (Parr.8).

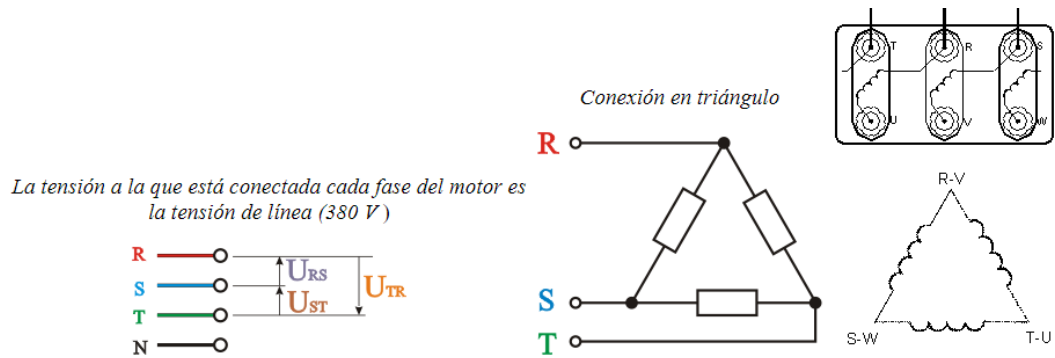


Figura 45. Conexión triángulo.

Fuente: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna.htm>.

Respecto a la corriente de alimentación, tendremos motores monofásicos y motores trifásicos.

- **Motor monofásico síncrono** (ver Figura 46): Es un motor idéntico al motor de corriente continua con excitación en serie. Pero en corriente alterna, el funcionamiento del motor se basa en el acoplamiento de campos magnéticos que giran al unísono. Para que se produzca este acoplamiento, el rotor tiene unas bobinas unidas a un colector formado por delgas, en serie con las bobinas del inductor. Un par de escobillas aplican la corriente al rotor (Par.10).

Por lo tanto, el mismo motor puede funcionar tanto con corriente continua como con alterna. Pero, además, puede funcionar como dínamo. Por ello se le denomina motor universal, y es ampliamente utilizado en pequeños electrodomésticos (ver Figura 47). También son motores típicos de los ferrocarriles eléctricos, especialmente suburbanos.

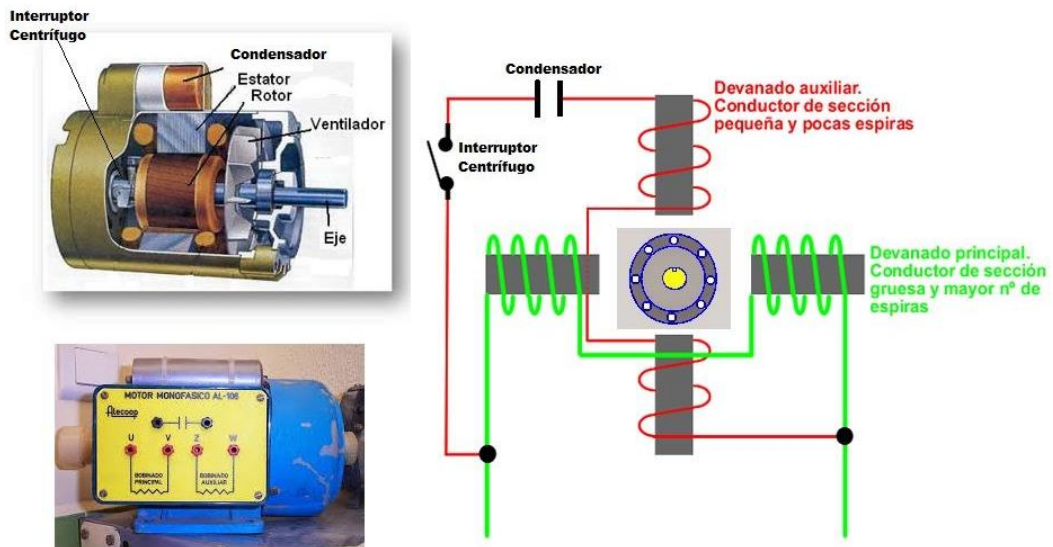


Figura 46. Partes de un servomotor.

Fuente: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor>.

De forma similar a los motores de corriente continua, los de alterna están constituidos por una parte fija denominada estator o inductor, dotado de las bobinas generadoras del campo magnético, y por un rotor o inducido, también llamado armadura (Parr.11). (<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centrostitic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna.htm>).



Figura 47. Taladro casero.

Fuente: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centrostitic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna_archivos/universal4.jpg.

- **Motor monofásico asíncrono** (ver Figura 48): En este tipo de motores, el estator genera un campo magnético giratorio. Para ello, se dispone de dos pares de bobinas perpendiculares. Una de ellas se conecta directamente a la corriente alterna, generando un campo magnético oscilante. En la otra bobina se intercala un condensador cuya misión es desfasar la corriente que llega a la bobina 90° (eléctricos) respecto a la corriente de la bobina anterior, con lo cual, el campo magnético que genera esta segunda bobina estará también desfasado respecto al anterior (Parr.12).

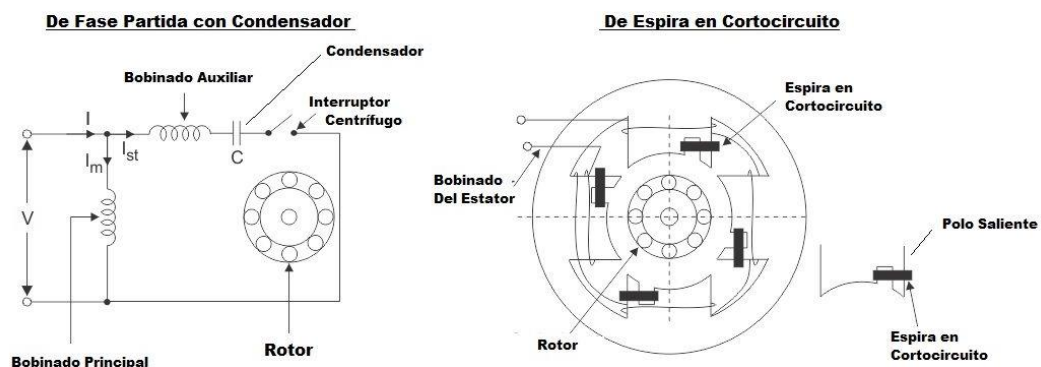


Figura 48. Tipos de motores asíncronos monofásicos.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/imagenes/motores-monofasicos-asincronos.jpg>.

El campo magnético giratorio induce una corriente en los conductores del rotor (razón por la que al rotor se le llama también inducido) siempre que exista una variación de flujo magnético. Esto ocurre siempre, ya que el rotor gira a menor velocidad que la velocidad de sincronismo a la que gira el campo. Y esta corriente inducida tiene los siguientes efectos:

- En primer lugar, se produce una fuerza de Lorentz (ver Ecuación 8) sobre los conductores del rotor.
- Además, la propia corriente genera un campo magnético concéntrico respecto al cable que se suma al campo inductor, y entre los dos resulta una atracción magnética sobre la estructura de acero del rotor.

Para una partícula sometida a un campo eléctrico combinado con un campo magnético, la fuerza electromagnética total o fuerza de Lorentz sobre esa partícula viene dada por:

$$\mathbf{f} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

Ecuación 8. Fuerza de Lorentz.

Donde v es la velocidad de carga, E es el vector intensidad de campo eléctrico y B es el vector inducción magnética (Parr.13-14).

Las corrientes y fuerzas que aparecen en el inducido son tanto mayores cuanto mayor sea la velocidad relativa entre el rotor y el campo magnético. Esto significa que los motores de inducción tendrán un elevado par de arranque y, además, cuando se sometan a alguna acción que les frene, esta disminución de velocidad de giro significa que la diferencia de velocidades aumenta, con lo cual aumenta la inducción, la fuerza de Lorentz, etc. y todo ello da como resultado que el par también aumenta, venciendo el frenado. Para que se produzca corriente que circule libremente por el rotor, los conductores deben formar un cortocircuito, que se consigue con llamados rotores de jaula de ardilla (Parr.15).

- **Motor trifásico síncrono** (ver Figura 49): De forma similar a los motores monofásicos, los motores trifásicos consiguen un campo magnético giratorio. El motor trifásico síncrono tiene un rotor constituido por un electroimán. No es un motor muy corriente por la complicación que supone alimentar el inductor con corriente alterna y el inducido con corriente continua, pero su velocidad de giro es fija e igual a la de sincronismo (Parr.16).



Figura 49. Además de las conexiones de la excitación, el motor dispone de las conexiones F1 y F2 para alimentar al rotor con corriente continua.

Fuente: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna_archivos/sincrono_trif.jpg.

- **Motor trifásico asíncrono** (ver Figura 50): El funcionamiento de estos motores es totalmente análogo al de los motores monofásicos de inducción:
 - Un campo magnético giratorio.
 - Inducción de corriente en el rotor por causa del campo que gira a mayor velocidad que el propio rotor.
 - Fuerza de Lorentz y fuerza de atracción magnética.

Y el campo magnético giratorio se consigue conectando cada una de las bobinas a una línea de corriente trifásica.

El rotor o inducido suele ser de jaula de ardilla, pero también puede ser de tipo bobinado, con la ventaja de poder regular la corriente de cortocircuito mediante potenciómetros, con lo cual se regula la velocidad de giro y el par desarrollado por el motor (Parr.17- 18). (<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centroctic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna.htm>).

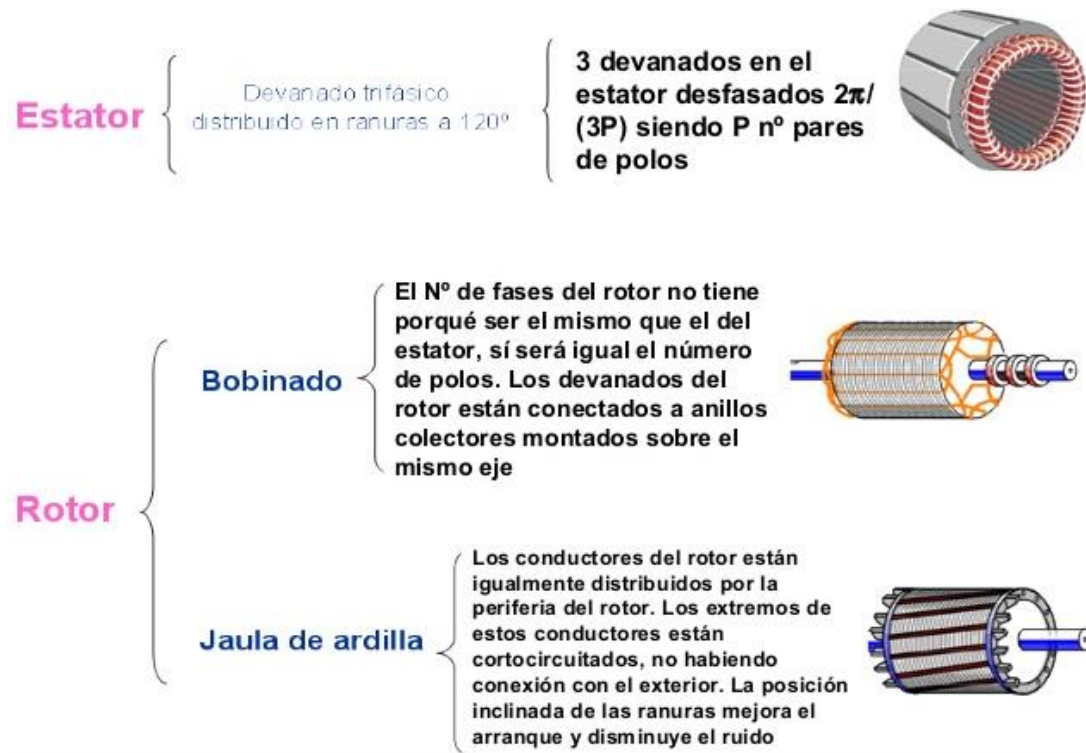


Figura 50. Partes de un motor asíncrono.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/motordeinduccioniapositiva-150815182640-1va1-app6891/95/motor-de-induccion-diapositiva-7-638.jpg?cb=1439663577>.

CÁLCULOS CON MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

El primer cálculo es la velocidad de giro del campo magnético o **velocidad síncrona**, n_s , que viene dada por la ecuación 9:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Ecuación 9. Velocidad síncrona.

donde f es la frecuencia de la corriente y p el número de polos que tiene el motor.

Otro parámetro, básico en los motores asíncronos, es el deslizamiento absoluto (ver ecuación 10), S , que es la diferencia entre la velocidad síncrona y la de giro del rotor, o el deslizamiento relativo, $S\%$, cociente entre el absoluto y la velocidad síncrona. Al deslizamiento relativo se le suele llamar simplemente deslizamiento.

$$S = n_s - n_{\text{ROTOR}} \quad S\% = \frac{n_s - n_{\text{ROTOR}}}{n_s} \cdot 100$$

Ecuación 10. Deslizamiento absoluto.

Para los cálculos (ver Figura 51) con potencias eléctricas, éstas vienen dadas por el producto del voltaje aplicado y la intensidad consumida, pero hay varias diferencias:

	Motor monofásico	Motor trifásico (*)	Unidad
Potencia absorbida	$P_{\text{ABSORBIDA}} = V \cdot I$	$P_{\text{ABSORBIDA}} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$	VA
Potencia activa	$P_{\text{ACTIVA}} = V \cdot I \cdot \cos \varphi$	$P_{\text{ACTIVA}} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$	W
Potencia reactiva	$P_{\text{REACTIVA}} = V \cdot I \cdot \sin \varphi$	$P_{\text{REACTIVA}} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varphi$	VAr
Potencia útil	$P_{\text{ÚTIL}} = P_{\text{ACTIVA}} \cdot \frac{\eta}{100}$ (**)		W
Pérdidas	<ul style="list-style-type: none"> • En el cobre del estátor • En los conductores del rotor • En el hierro, magnéticas y corrientes parásitas • Mecánicas 		W
Par de giro	$M = \frac{P_{\text{ÚTIL}}}{\omega} = \frac{60 \cdot P_{\text{ÚTIL}}}{2\pi \cdot n_{\text{ROTOR}}} \text{ (***)}$		N·m

Figura 51. Cálculos de parámetros para motores AC.

Fuente: http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna_archivo

s/sincrono_trif.jpg.

2.4.9. Arduino

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso (Parr.1).

Para poder entender este concepto, primero vas a tener que entender los conceptos de hardware libre y el software libre. El hardware libre son los dispositivos cuyas especificaciones y diagramas son de acceso público, de manera que cualquiera puede replicarlos. Esto quiere decir que Arduino ofrece las bases para que cualquier otra persona o empresa pueda crear sus propias placas, pudiendo ser diferentes entre ellas, pero igualmente funcionales al partir de la misma base (Parr.2).

El software libre son los programas informáticos cuyo código es accesible por cualquiera para que quien quiera pueda utilizarlo y modificarlo. Arduino ofrece la plataforma Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado), que es un entorno de programación con el que cualquiera puede crear aplicaciones para las placas Arduino, de manera que se les puede dar todo tipo de utilidades (Parr.3).

El proyecto nació en 2003, cuando varios estudiantes del Instituto de Diseño Interactivo de Ivrea, Italia, con el fin de facilitar el acceso y uso de la electrónica y programación. Lo hicieron para que los estudiantes de electrónica tuviesen una alternativa más económica a las populares BASIC Stamp, unas placas que por aquel entonces valían más de cien dólares, y que no todos se podían permitir (Parr.4).

El resultado fue Arduino, una placa con todos los elementos necesarios para conectar periféricos a las entradas y salidas de un microcontrolador, y que puede ser programada tanto en Windows como macOS y GNU/Linux. Un proyecto que promueve la filosofía 'learning by doing', que viene a querer decir que la mejor manera de aprender es cacharreando (Parr.5). (<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-quepuedes-hacer-uno>).

El Arduino es una placa basada en un microcontrolador ATMEL. Los microcontroladores son circuitos integrados en los que se pueden grabar instrucciones, las cuales las escribes con el lenguaje de programación que puedes utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones permiten crear programas que interactúan con los circuitos de la placa (Parr.1).

El microcontrolador de Arduino posee lo que se llama una interfaz de entrada, que es una conexión en la que podemos conectar en la placa diferentes tipos de periféricos. La información de estos periféricos que conectes se trasladará al microcontrolador, el cual se encargará de procesar los datos que le lleguen a través de ellos (Parr.2).

El tipo de periféricos que puedas utilizar para enviar datos al microcontrolador depende en gran medida de qué uso le estés pensando dar. Pueden ser cámaras para obtener imágenes, teclados para introducir datos, o diferentes tipos de sensores (Parr.3).

También cuenta con una interfaz de salida, que es la que se encarga de llevar la información que se ha procesado en el Arduino (Figura 52) a otros periféricos. Estos periféricos pueden ser pantallas o altavoces en los que reproducir los datos procesados, pero también pueden ser otras placas o controladores (Parr.4). (<https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>).

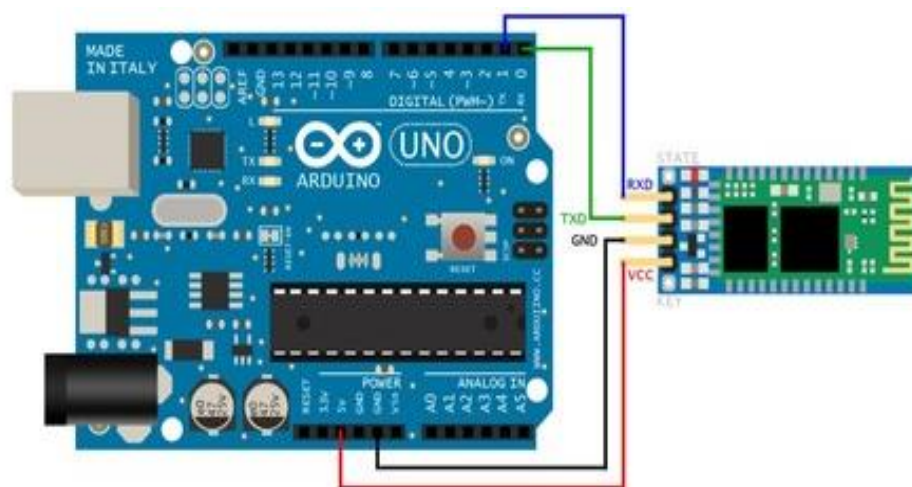


Figura 52. Placa de Arduino.

Fuente: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>.

2.4.10. Tipos de Arduino

A continuación, se muestra una tabla (ver Tabla 14) comparativa entre los diferentes tipos de Arduino (ver Figura 53):

Tabla 14 Comparación tipos de motores para grúas horquilla.

	Processor	Processor Voltage	Supply Voltage	Flash	SRAM	Digital I/O Pins	PWM Pins	Analog Inputs	Hardware Serial Ports	Dimensions	Shield Compatibility	Notes and Special Features
Uno	16MHz Atmega 328	5v	7-12v	32Kb	2Kb	14	6	6	1	2.1"x2.7" 53x75mm	Excellent (most will work)	
Uno Ethernet	16MHz Atmega 328	5v	7-12v	32Kb	2Kb	14	6	6	1	2.1"x2.7" 53x75mm	Very Good (some pin conflicts)	Has Ethernet Port. Requires FTDI cable to program.
Mega	16MHz Atmega 2560	5v	7-12v	256Kb	8Kb	54	14	16	4	2.1"x4" 53x102mm	Good (some pinout differences)	
Mega ADK	16MHz Atmega 2560	5v	7-12v	256Kb	8Kb	54	14	16	4	2.1"x4" 53x102mm	Good (some pinout differences)	Works with Android Development Kit.
Leonardo	16MHz Atmega 32U4	5v	7-12v	32Kb	2.5Kb	20*	7	12*	1	2.1"x2.7" 53x75mm	Fair (many Pinout Differences)	Native USB capabilities. USB Micro B programming port.
Due	84MHz ARM SAM3X8E	3.3v	7-12v	512Kb	96Kb	54	12	12	4	2.1"x4" 53x102mm	POOR (voltage and pinout differences)	Fastest processor. Most memory. 2-channel DAC. USB micro B programming port. Native micro AB port.
Micro	16MHz Atmega 32U4	5v	5v	32Kb	2.5Kb	20*	7	12*	1	0.7"x1.9" 18x49mm	N/A	Smallest board size. Native USB capabilities
Flora	8MHz Atmega 32U4	3.3v	3.5-16v	32Kb	2.5Kb	8*	4	4*	1	1.75" dia 44.5mm dia	N/A	Sewable Pads. Fabric-friendly design. Native USB Capabilities
DC Boarduino	16MHz Atmega 328	5v	7-12v	32Kb	2Kb	14	6	6	1	0.8"x3" 20.5x76mm	N/A	Can build without headers or sockets for smaller size. Requires FTDI cable for programming
USB Boarduino	16MHz Atmega 328	5v	5v (USB)	32Kb	2Kb	14	6	6	1	0.8"x3" 20.5x76mm	N/A	Can build without headers or sockets for smaller size. USB Mini B programming port.
Menta	16MHz Atmega 328	5v	7-12v	32Kb	2Kb	14	6	6	1	0.8"x3" 20.5x76mm	Excellent (most will work)	Mint-Tin Size and Prototyping Area. Requires FTDI cable for programming.

Fuente: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-quepuedes-hacer-uno>.

Arduino es un proyecto y no un modelo concreto de placa, lo que quiere decir que compartiendo su diseño básico te puedes encontrar con diferentes tipos de placas. Las hay de varias formas, tamaños y colores para a las necesidades del proyecto en el que estés trabajando, las hay sencillas o con características mejoradas, Arduinos orientados al Internet de las Cosas o la impresión 3D y, por supuesto, dependiendo de estas características te encontrarás con todo tipo de precios.

Arduino Mini, Micro y Nano

Estas tres tarjetas pertenecientes a la familia Arduino también son muy usadas, aunque, aunque suelen surgir dudas por cuál es la más adecuada. En la Tabla 15 se muestran las características técnicas de cada una de las tarjetas, las cuales pueden consultarse en la página de Arduino (Parr.1). (<https://www.330ohms.com/blogs/blog/114183172-arduino-mini-micro-y-nano-que-tan-diferentes-son>).

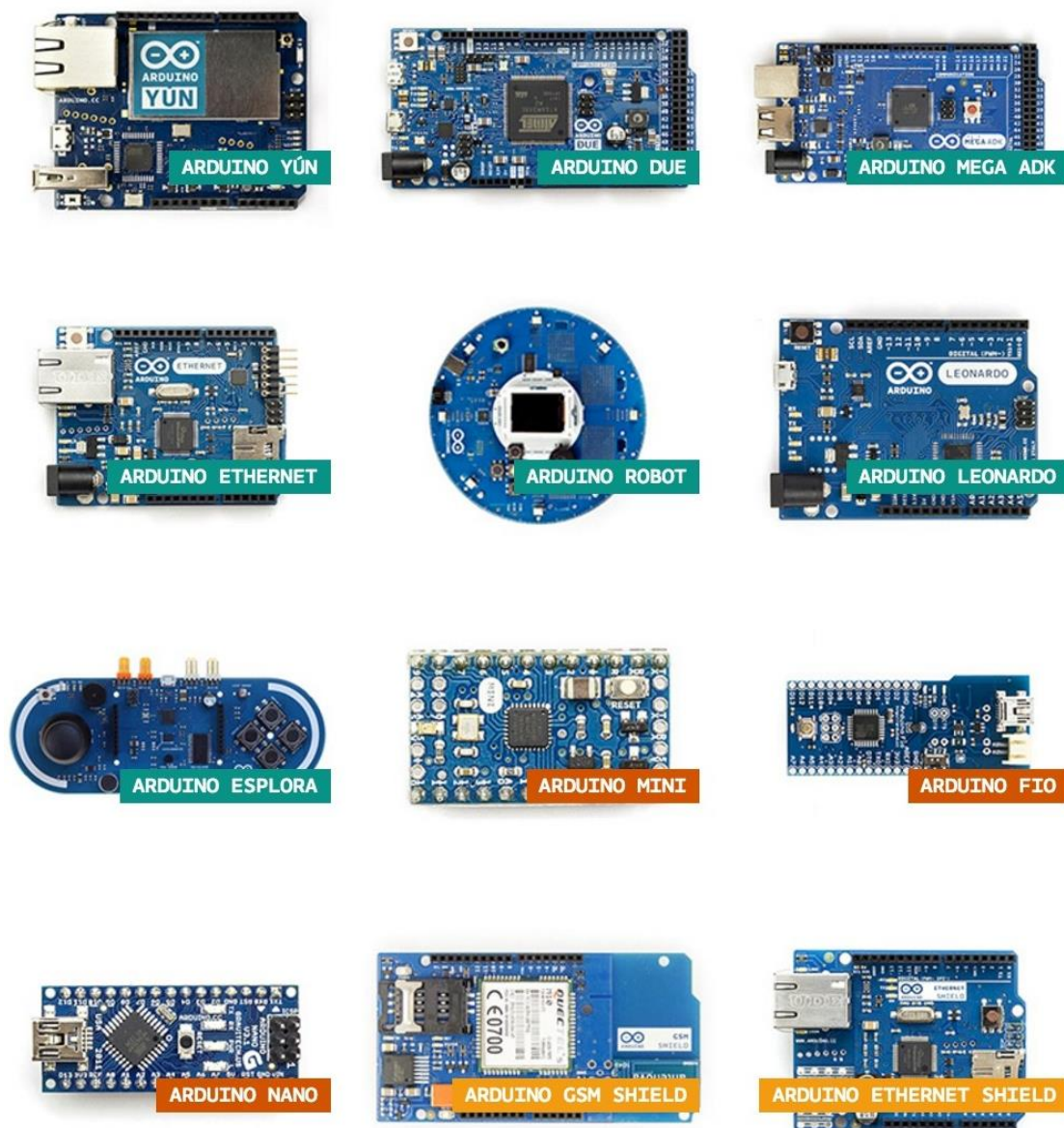




Figura 53. Tipos de Arduino.

Fuente: https://i.blogs.es/218ccc/formas-arduino/1366_2000.jpg.

Tabla 15 Comparación tipos de motores para grúas horquilla.

	Arduino Mini	Arduino Micro	Arduino Nano
Características			
Microcontrolador	Atmega328P	ATmega32U4	ATmega168 ATmega328P
Voltaje de operación	5 V	5 V	5 V
Voltaje de alimentación	7-9 V	7-12 V	7-9 V
Frecuencia de operación	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Entradas/salidas analógicas	8/0	12/0	8/0
Entradas/salidas digitales	14/14	20/20	14/14
PWM	6	7	6
EEPROM (kB)	1	1	0.512 0
SRAM (kB)	2	2.5	1 2
Flash (kB)	32	32	16 32
Puerto de programación y alimentación principal	Por medio de una tarjeta o un cable FTDI	Micro USB	Mini USB
UART	1	1	1
Dimensiones (en cm)	3 x 1.8	4.8 x 1.77	4.5 x 1.8

Fuente : <https://www.330ohms.com/blogs/blog/114183172-arduino-mini-micro-y-nano-que-tan-diferentes-son>.

2.4.11. Arduino pro mini

El Arduino Pro Mini es una tarjeta de desarrollo basada en el ATmega328. Cuenta con 14 pines de entradas/salidas digitales (de las cuales 6 se puede usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un resonado, un botón de reinicio, y agujeros para colocar conectores. Se puede conectar un conector de 6 pines para emplear un cable FTDI o una

tarjeta FTDI (como el FTDI Basic Breakout) para suministrar voltaje USB y establecer comunicación con el circuito.

Esta tarjeta (ver Figura 54) está diseñada para ser montada y usada en una protoboard debido a su tamaño compacto y al arreglo de headers macho. Adecuada para prototipos pequeños y de volúmenes pequeños. Puede considerarse que es una versión miniatura de la tarjeta Arduino UNO (Parr.3). (<https://330ohms.com/blogs/blog/114183172-arduino-mini-micro-y-nano-que-tan-diferentes-son>).

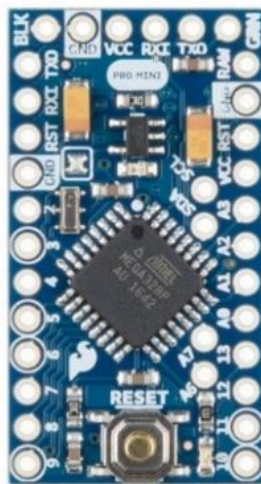


Figura 54. Arduino pro mini.

Fuente: <https://www.sparkfun.com/products/11113>.

CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

3.1. Estado inicial del sistema

En las instalaciones del laboratorio Nutriarandanos s.a.c., se requería implementar un sistema de inmersión temporal a menor costo de fabricación e instalación comparado a los sistemas de inmersión temporal comerciales. En el laboratorio se encontraron estantes, o comúnmente denominados como “columnas” (ver Figura 55) por los biotecnólogos. Estos estantes se encuentran contruidos en base a ángulos ranurados, uniones y pernos de acero y aluminio.

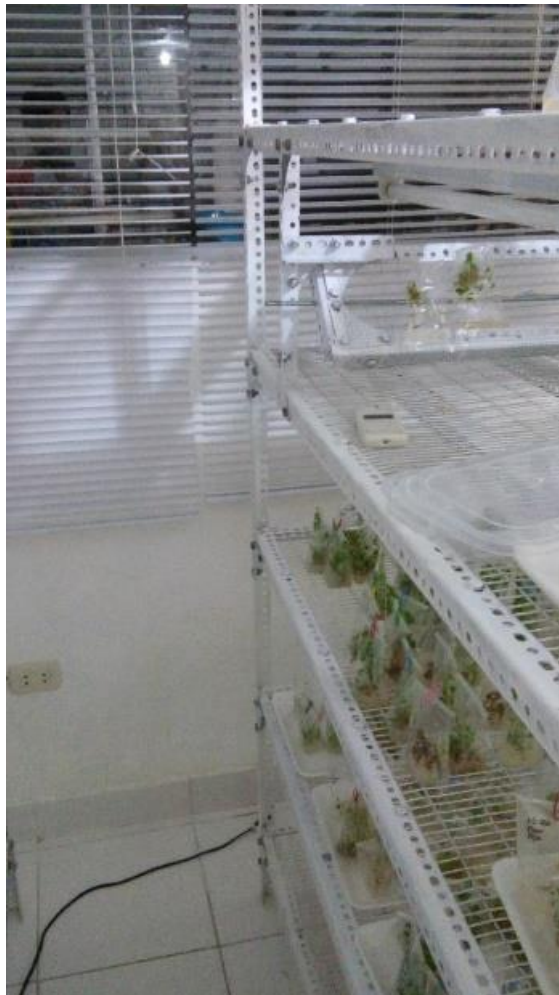


Figura 55. Columna de estantes.

Fuente: Laboratorios Nutriarandanos s.a.c.

Los profesionales encargados del laboratorio, colocan dentro de bolsas de plástico esterilizadas (ver figura 56), las plantas bebes para exhibirlas o mantenerlas hasta venderlas a agricultores o personas interesadas en sembrarlas. Las mantienen vivas gracias al medio líquido, el cual contiene agua, nutrientes y vitaminas seleccionados en base a la necesidad de cada cultivo en particular. Las bolsas con plantas se exponen a luz natural y artificial de manera controlada para poder mantenerlas vivas.



Figura 56. Bolsas con plantas cultivadas mediante SIT.

Fuente: Laboratorios Nutriarandanos s.a.c.

3.2. Metodología

A pedido del usuario, se necesitaba implementar un nuevo sistema en los estantes que ya se encuentran instalados. Para disminuir costos, el laboratorio proporcionó los mismos materiales de los que están contruidos los estantes y las rejillas. También proporcionó las facilidades para utilizar las bolsas y medio líquido para el proyecto.

Se procedió a desarrollar un prototipo inspirado en las rejillas, las cuales son los pisos de los estantes. La separación del medio líquido de los explantes, semillas y yemas, se realizaría sellando al calor el centro de las bolsas (previamente rellenas hasta la mitad con el medio líquido y las semillas), dejando un pequeño canal por el cual pasaría solamente el medio líquido. Gracias a la aceleración de la gravedad, al girar la bolsa, el medio líquido se mueve a la otra mitad de la bolsa, dejando secas las semillas en la primera

mitad de la bolsa. Por el tipo de movimiento, se determinó adecuado emplear un servomotor, el cual tiene que ser instalado en una estructura, a una distancia adecuada para el correcto funcionamiento del sistema mecánico que realiza el movimiento angular de la rejilla.

Para la fase de control, se determinó emplear un microcontrolador Arduino, por su versatilidad y simplicidad de programación. Para brindar mayor comodidad a los usuarios, se agregó una pantalla LCD modelo 2x16 para visualizar y seleccionar una de las opciones pre programadas conteniendo cada una, distintos tiempos de inmersión y cantidad de ciclos. En la figura 57 se detallan los pasos de implementación del SIT de la tesis.

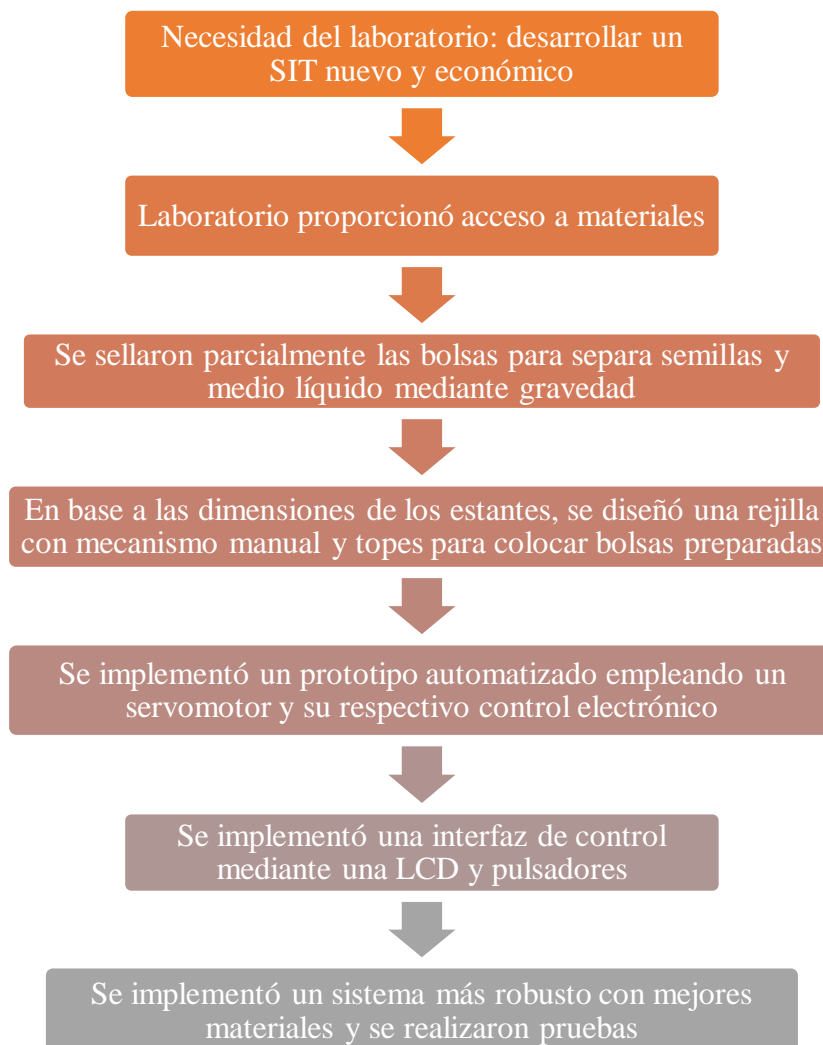


Figura 57. Diagrama de bloques de proceso de implementación de SIT de tesis.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Desarrollo del prototipo

Antes del diseño del SIT automatizado, se tomaron datos sobre las dimensiones de los estantes, para diseñar correctamente las rejillas de manera que quepan dentro de un estante. Luego se implementó un SIT de rejilla manual.

Este sistema tenía topes para limitar el giro de la rejilla sobre su eje como se aprecia en la figura 58.



Figura 58. Imagen del sistema de inmersión temporal de rejilla manual.

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a esta prueba se pudo tener una idea más clara, de los siguientes pasos a seguir para diseñar un SIT automatizado.

El primer paso fue implementar una estructura de cuatro patas o bases con los ángulos ranurados de acero proporcionados por el laboratorio. Luego se implementó el marco de la rejilla con más ángulos ranurados y se instaló con su eje en la estructura de cuatro columnas o patas.

En segundo lugar, se diseñó la estructura que sostiene el servomotor y el mecanismo de movimiento, la unión del eje del servomotor con los brazos, y a su vez con el marco de la rejilla donde se emperaron los brazos o uniones en mención.

Los materiales seleccionados para el prototipo fueron materiales desechables como retazos de aluminio y tubos de PVC cortados (figura 59).

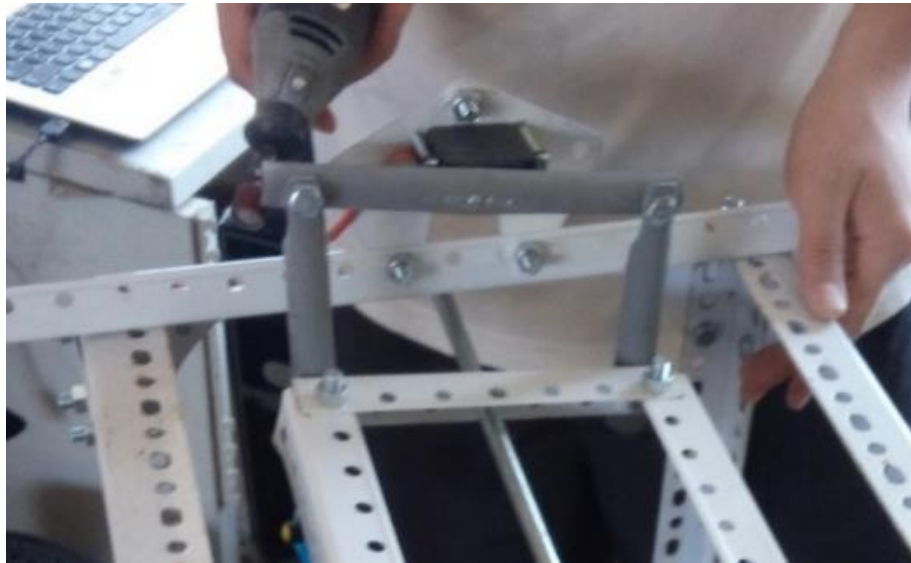


Figura 59. Mecanismo de movimiento de la rejilla.

Fuente: Diseño propio.

3.4. Dinámica y selección del actuador

3.4.1. Tipos de actuadores

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo de el origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico” (Parr.1).

El actuador más común es el actuador manual o humano. Es decir, una persona mueve o actúa un dispositivo para promover su funcionamiento. Con el tiempo, se hizo conveniente automatizar la actuación de dispositivos, por lo que diferentes dispositivos hicieron su aparición. Actualmente hay básicamente dos tipos de actuadores: lineales y rotatorios (Parr.3-4).

Los actuadores lineales generan una fuerza en línea recta, tal como haría un pistón. Los actuadores rotatorios generan una fuerza rotatoria, como lo haría un motor eléctrico. En este artículo nos concentraremos en los actuadores rotatorios. En la próxima actualización tocaremos el tema de los actuadores lineales. Como ya se mencionó, hay tres tipos de actuadores: neumáticos, hidráulicos y eléctricos (Parr.5).

El objetivo final del actuador rotatorio es generar un movimiento giratorio. El movimiento debe estar limitado a un ángulo máximo de rotación. Normalmente se habla de actuadores de cuarto de vuelta, o 90°; fracción de vuelta para ángulos diferentes a 90°, por ejemplo 180°; y de actuadores multivuelta, para válvulas lineales que poseen un eje de tornillo o que requieren de múltiples vueltas para ser actuados. La variable básica a tomar en cuenta en un actuador rotatorio es el torque o par; también llamado momento. Y es expresado en lb-in, lb-pie, N-m, etc (Parr.10). El actuador rotatorio dependiendo de su diseño, consta de las siguientes partes móviles básicas (ver Tabla 16):

Tabla 16 Partes de actuadores giratorios.

	<u>Actuador Neumático</u>	<u>Actuador Eléctrico</u>	<u>Actuador Hidráulico</u>
Fuerza Generadora de Movimiento	Presión de aire	Energía eléctrica	Presión hidráulica
Elemento Motriz	Émbolo, Pistón o Veleta	Motor Eléctrico	Émbolo, Pistón o Veleta
Transmisión de Fuerza o Torque	Eje o Cremallera	Reductor	Eje
Conversión mecánica	Yugo o Piñón	- No hay -	Yugo o Piñón

Fuente: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>.

Para hacer funcionar el actuador eléctrico, se debe energizar los bornes correspondientes para que el motor actúe en la dirección apropiada. Usualmente vienen con un controlador local o botonera que hace este proceso más sencillo. Sin embargo, para la automatización remota del actuador, se debe considerar el diagrama de cableado que viene con el actuador. Las conexiones deben considerar fuerza, señales de límites de carrera y torque, señales análogas o digitales de posición y torque, etc. El torque generado por el motor eléctrico es aumentado por un reductor interno o externo para dar salida al torque final en el tiempo seleccionado. Esta es la razón por la que los actuadores eléctricos toman más tiempo en recorrer la carrera que los neumáticos o hidráulicos (Parr.11). (<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>).

El actuador considerado en este estudio corresponde a la familia de los servomotores, los cuales están constituidos por un motor de corriente continua, un juego de engranajes para la reducción de velocidad de giro y aumento de torque en su eje motriz y un circuito de control de realimentación que convierte una señal de entrada de tipo modulación por ancho de pulsos PWM (Pulse-Width Modulation) a tensión, comparándola con la posición realimentada para luego amplificarla y accionar un puente H para producir un giro a una determinada velocidad. En la Figura 60 se observa un diagrama esquemático servomotor-

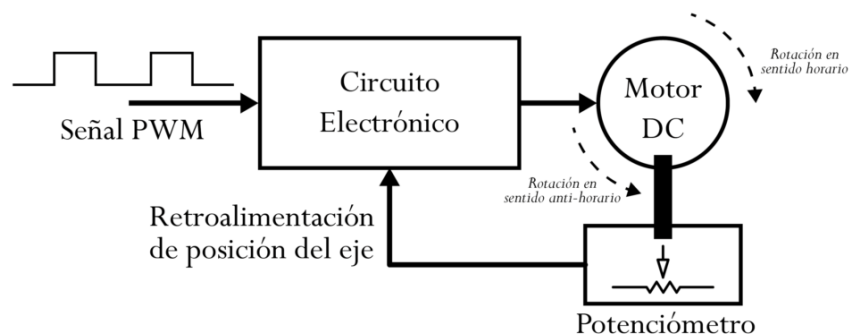


Figura 60. Diagrama esquemático de un servomotor.

Fuente: http://panamahitek.com/wp-content/uploads/2016/12/servo_block_diagram.png.

Para seleccionar el servomotor adecuado, se realizaron los siguientes cálculos:

Por teoría de estática del cuerpo rígido, conocemos que para que un cuerpo se encuentre en estado de equilibrio o reposo, la resultante o sumatoria de fuerzas y momentos debe ser igual a 0 así como se puede observar en las Ecuaciones 11 y 12.

$$\sum \vec{F} = 0$$

Ecuación 11. Fórmula de equilibrio de fuerzas.

$$\sum \vec{M}_{\text{cualquier punto}} = 0$$

Ecuación 12. Fórmula de momentos de un cuerpo en equilibrio.

También sabemos que el momento o torque en un eje es igual a la multiplicación de la fuerza aplicada por la distancia entre el punto de apoyo y el punto donde se aplica la fuerza. Se muestra en la ecuación 13. El valor del torque o momento en un punto es mayor a 0 cuando existe un eje de rotación y la fuerza es aplicada a una distancia del eje mayor a 0.

$$\tau = F \times d$$

Ecuación 13. Fórmula de torque o momento.

Analizamos momentos en los 3 ejes teniendo como punto S (0x; 0y; 0z) el punto donde se encuentra el eje mecánico del servomotor (Figura 61).

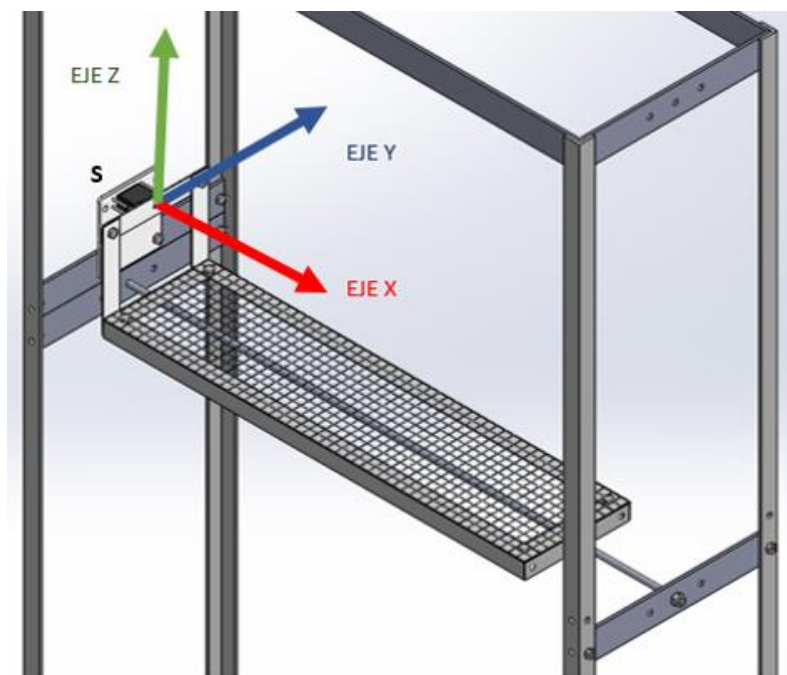


Figura 61. 3 ejes en el eje mecánico del servomotor.

Fuente: Elaboración propia.

Empezamos por analizar el momento en el eje Y. Como se muestra en la figura 63, F_y es el peso puntual de la carga superficial aplicada sobre la superficie de la rejilla. F_y se encuentra ubicada en el centro de gravedad de un rectángulo (ver Figura 62). R_{y1} y R_{y2} son reacciones opuestas al efecto de la F_y en los puntos de apoyo de la rejilla. Analizamos este caso con las Ecuaciones 11 y 12:

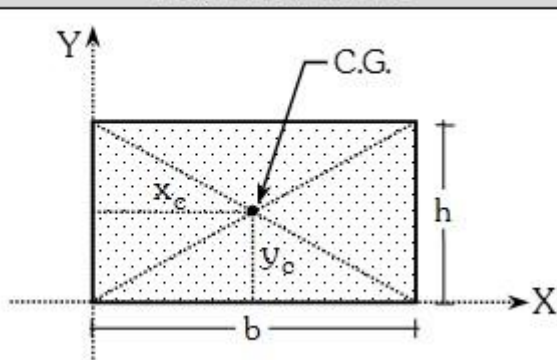
Representación	x_c	y_c
	$\frac{b}{2}$	$\frac{h}{2}$

Figura 62. Ubicación centro de gravedad en una superficie rectangular.

Fuente: <https://ejerciciosdefisica.com/wp-content/uploads/2018/11/Centro-de-Gravedad-de-un-Rect%C3%A1ngulo.jpg>.

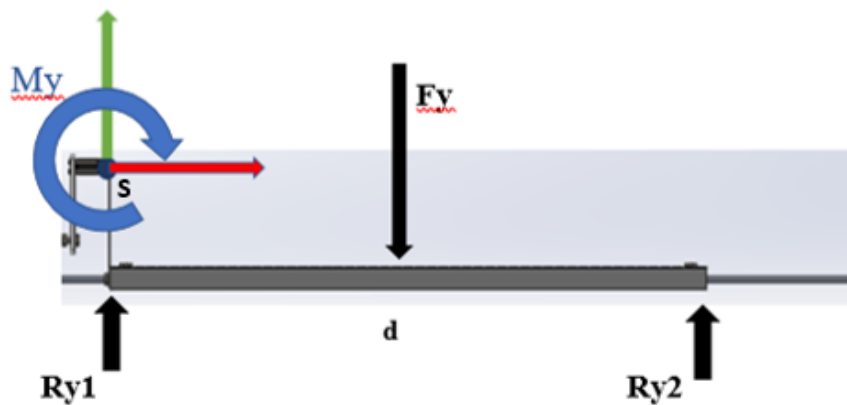


Figura 63. Fuerzas y momento en eje Y.

Fuente: Elaboración propia.

$$\sum \vec{F} = 0 ; \sum F_x = 0 ; \sum F_y = 0 ; \sum F_z = -F_y + R_{y1} + R_{y2}$$

Obtenemos la Ecuación 14: $F_y = R_{y1} + R_{y2}$.

Como X no es un eje de rotación, entonces:

$$\sum M_{Sx} = 0 ; \sum M_{Sy} = 0 ; F_y * \frac{d}{2} - R_{y2} * d = 0 ; \sum M_{Sz} = 0$$

Obtenemos la Ecuación 15: $2 * R_{y2} = F_y$.

Luego analizamos el momento en el eje Z. Como se muestra en la Figura 64, no hay fuerzas provocando una rotación. Tampoco tenemos un eje de rotación en Z.

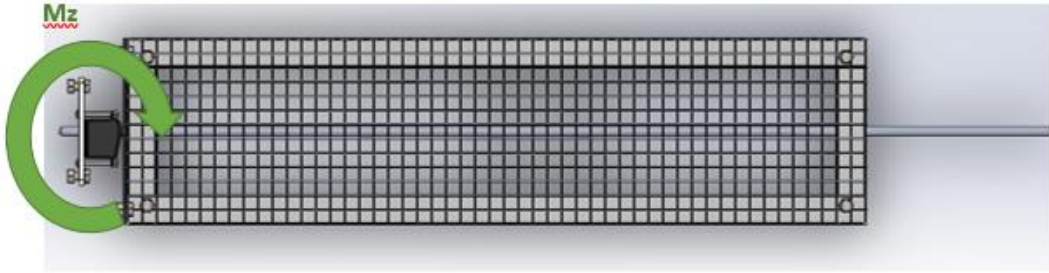


Figura 64. Fuerzas y momento en eje Z.

Fuente: Elaboración propia.

$$\sum M_z = 0$$

Para analizar el torque en el eje X, empezaremos por analizar cómo se encuentra distribuida nuestra carga.

Debido a las dimensiones de las bolsas del cultivo empleadas en este SIT, se pueden distribuir uniformemente 8 fijadas en toda la superficie de la rejilla. Todo el sistema que involucra la rejilla, las bolsas con medio líquido y explantes distribuidas uniformemente en la rejilla, tendrá como masa un máximo de 3 kg. Este sería el valor de nuestra carga puntual “Q” como se ver en la Figura 65.

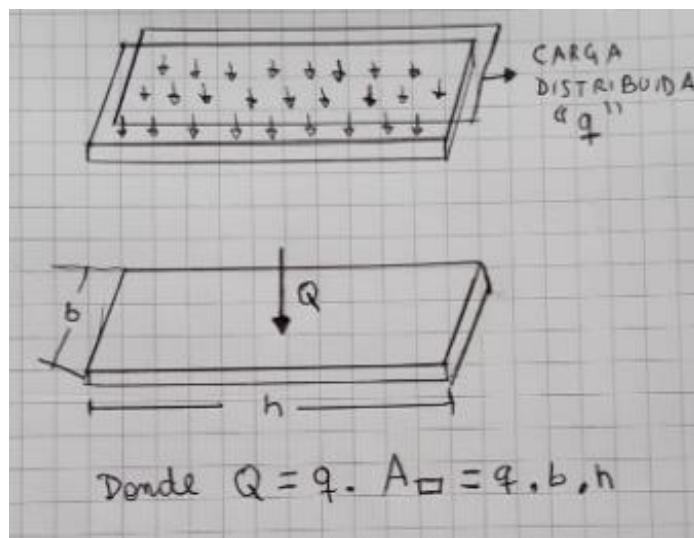


Figura 65. Carga distribuida sobre una superficie rectangular.

Fuente: Elaboración propia.

Reemplazando los valores de la Figura 66 en la Ecuación 16 hallamos “q”.

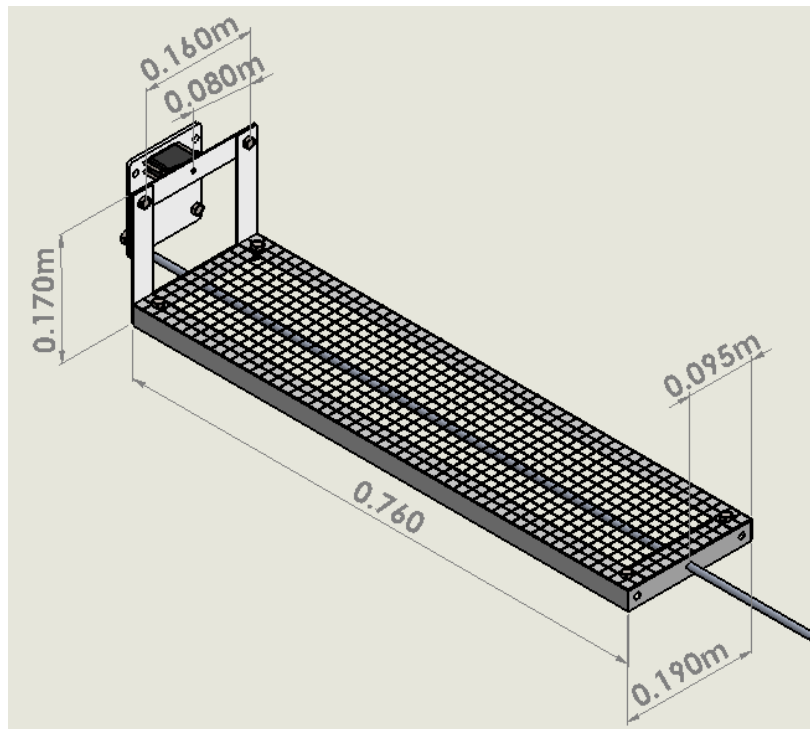


Figura 66. Dimensiones de la rejilla.

Fuente: Elaboración propia.

$$Q = q \cdot A$$

Ecuación 16. Cálculo de fuerza puntual sobre una superficie de área A.

$$A = b \cdot h = 0.760 \cdot 0.190 = 0.1444 \text{ m}^2$$

$$3 = q \times 0.1444$$

$$q = 20.78 \text{ Kg/m}^2$$

Pero para facilitar el análisis, analizaremos solamente el área de la mitad de la rejilla como superficie y trasladamos el eje del servomotor a la altura de la rejilla, ya que el peso de las platinas del sistema articulado es despreciable para el análisis. Ahora, hallamos el valor de la fuerza puntual (Figura 67) en el centroide de la mitad de la superficie de la rejilla reemplazando los datos en la ecuación 16 nuevamente.

El centro de gravedad de una superficie rectangular con carga distribuida uniformemente se encuentra justo en el centro del mismo como muestra la Figura 62.

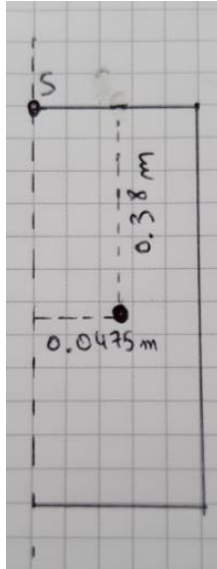


Figura 67. Ubicación de carga Q en centroide.

Fuente: Elaboración propia.

$$A=b.h=0.760*0.095=0.0722 \text{ m}^2$$

$$Q= 20.78 \times 0.0722$$

$$Q= 1.5 \text{ Kg}$$

La nueva carga puntual Q, se ubicaría aproximadamente como se ve en la Figura 68.

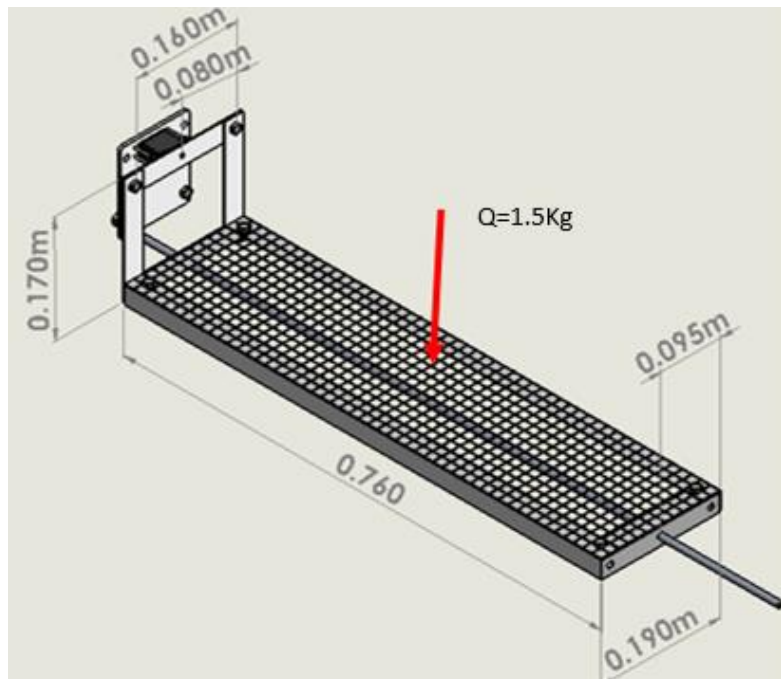


Figura 68. Ubicación de la nueva carga Q en 3d.

Fuente: Elaboración propia.

Luego el torque del motor se va a calcular como muestra la Figura 69, provocado por la carga Q a una distancia del eje de 0.0475m .

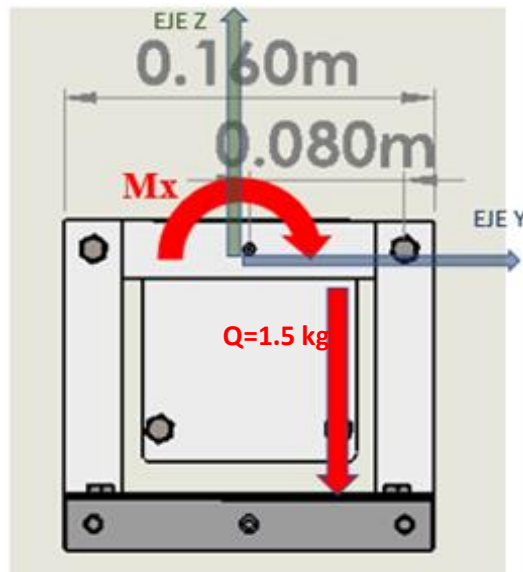


Figura 69. Momento o torque en el eje X o eje de servomotor.

Fuente: Elaboración propia.

Para obtener un resultado más preciso, analizaremos el torque en los 2 estados en que se encontrará el sistema. En el estado 01, se encontrará la rejilla en estado horizontal, es decir a 0° de inclinación, como se muestra en la Figura 70.

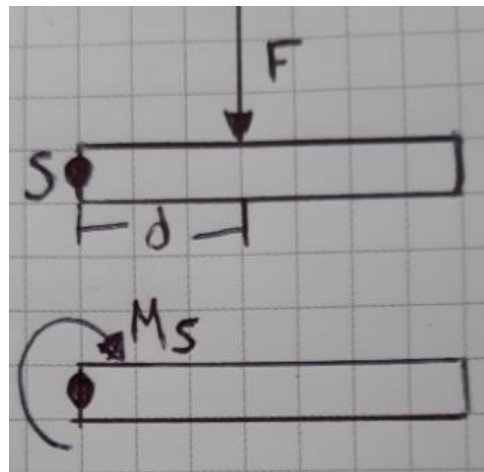


Figura 70. Primer estado: Rejilla en estado horizontal.

Fuente: Elaboración propia.

Para calcular torque debemos transformar la carga Q en peso. Aplicamos la Ecuación 17:

$$P = m \cdot g$$

Donde:

P = peso

m = masa

g = aceleración de gravedad

Ecuación 17. Fórmula para hallar el peso.

$$F=1.5*9.81= 14.715 \text{ N}$$

Ahora, reemplazamos los valores reales en la Ecuación 13: $\tau = F \times d$

$$\tau=14.715*0.0475=0.6989 \text{ N.m}$$

En el estado 02 o la segunda posición, la rejilla se encontrará inclinada en un ángulo con referencia al eje de coordenadas Y.

Comenzaremos analizando el momento en el eje del servomotor con la rejilla inclinada de manera general.

En la Figura 71, observamos que, al existir una inclinación, el vector fuerza o “F” deja de ser perpendicular a la horizontal. Para hallar el momento es necesario que el vector fuerza sea perpendicular a la distancia entre el punto donde se producirá el momento y el punto donde se aplica dicha fuerza. Entonces procedemos a descomponer la fuerza de manera que obtenemos la perpendicular que sería $F \cdot \cos \theta$.

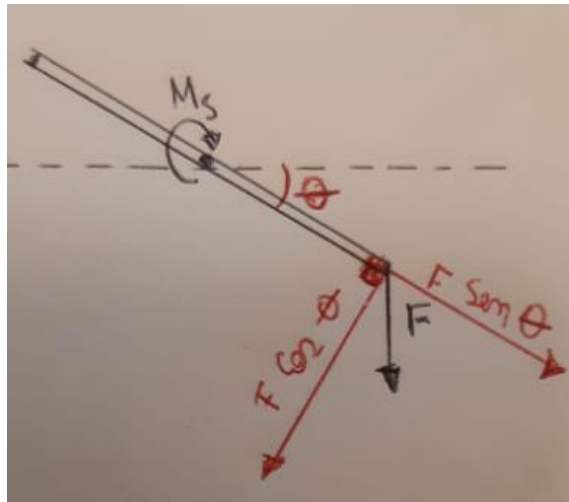


Figura 71. Segundo estado: Rejilla en inclinada a un ángulo.

Fuente: Elaboración propia.

Reemplazando en la Ecuación 13 los valores teniendo en cuenta que el ángulo para este sistema es de 45° , la fuerza 14.715 y la distancia 0.0475m.

$$\tau = F \cdot \cos \theta \cdot d$$

$$\tau = 14.715 \cdot \cos 45^\circ \cdot 0.0475$$

$$\tau = 14.715 \cdot \cos 45^\circ \cdot 0.0475$$

$$\tau = 0.4942 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Podemos concluir que el mayor torque es soportado cuando el ángulo es 0° . Según la ecuación $\tau = 14.715 \cdot 0.0475 = 0.6989 \text{ N}\cdot\text{m}$, observamos que el máximo torque será $0.6989 \text{ N}\cdot\text{m}$. Al convertirlo a las unidades comerciales obtenemos $7.13 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$. En diseño es necesario multiplicar el valor unicial por un factor de seguridad para asegurarse de que no existan problemas. Los valores sugeridos para diseño mecánico van desde 1 hasta 3 cuando ya se probó el sistema. En nuestro caso utilizaremos un factor de seguridad de 1.3 lo cual nos da un total de $9.269 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$. El servomotor con el torque próximo superior a $9.269 \text{ Kg}\cdot\text{cm}$ trabaja en un rango de entre 9.4 y 11 $\text{Kg}\cdot\text{cm}$. (Se adjunta datasheet en la página 136).

3.5. Diseño de la estructura y mecanismo de movimiento

Para la estructura principal se utilizaron ángulos ranurados de aluminio, usualmente empleados para construir todo tipo de estanterías. Inicialmente, con motivos de prueba, se utilizaron tubos de PVC por su facilidad de mecanizado y versatilidad para su transformación. Con estos tubos se realizaron las pruebas del mecanismo de movimiento para la rejilla como se muestra en la siguiente Figura 72.



Figura 72. Mecanismo de transmisión servo-rejilla inicial.

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se utilizó aluminio para hacer más robusta la estructura (ver Figura 73).



Figura 73. Mecanismo de transmisión servo-rejilla final.

Fuente: Elaboración propia.

Se anexa planos mecánicos (ver página 161).

3.6. Diseño del circuito electrónico y su respectiva estructura (caja) protectora

3.6.1. Controlador

Para la etapa de control se seleccionó como microcontrolador, un Arduino Pro Mini (Figura 74), se seleccionó por su bajo costo, simplicidad para programarlo, por el espacio reducido que ocupa y por la cantidad de pines que son necesarios para este SIT.

En la Tabla 17, se muestran las especificaciones técnicas del Arduino Pro Mini.

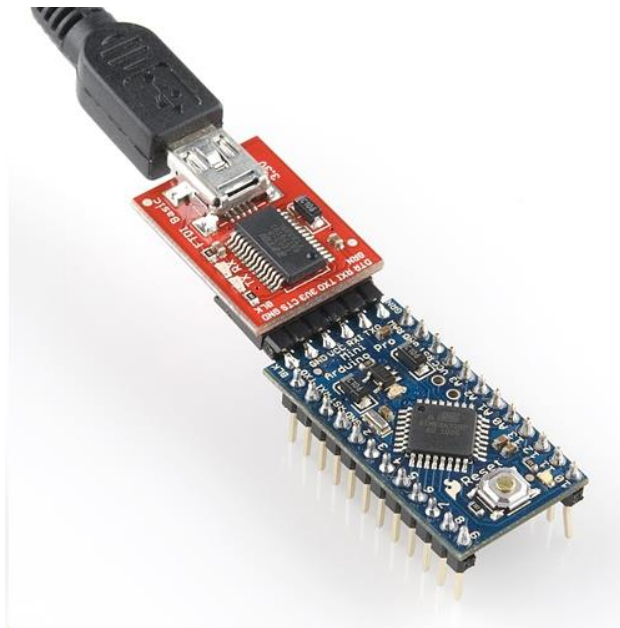


Figura 74. Arduino Pro Mini.

Fuente: <https://cdn.sparkfun.com/assets/9/6/5/5/b/51eec92ece395ffc4b000000.png>.

Tabla 17 Data sheet de Arduino Pro Mini.

Microcontroller	ATmega328 *
Board Power Supply	3.35 -12 V (3.3V model) or 5 - 12 V (5V model)
Circuit Operating Voltage	3.3V or 5V (depending on model)
Digital I/O Pins	14
PWM Pins	6
UART	1
SPI	1
I2C	1
Analog Input Pins	6
External Interrupts	2
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	32KB of which 2 KB used by bootloader *
SRAM	2 KB *
EEPROM	1 KB *
Clock Speed	8 MHz (3.3V versions) or 16 MHz (5V versions)

Fuente: <https://cdn.sparkfun.com/assets/9/6/5/5/b>.

3.6.2. Interfaz

Para la etapa de interfaz, se utilizó una pantalla LCD 2 X 16 (ver Figura 75). Mediante esta pantalla se puede seleccionar una de las configuraciones de ciclos y tiempos de inmersión. Así también se pueden revisar la cantidad de ciclos que ya ha realizado el sistema.

Una pantalla de cristal líquido o LCD (sigla del inglés Liquid Crystal Display) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

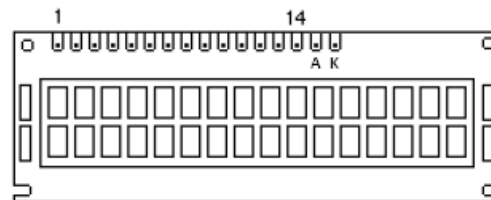


Figura 75. Pantalla LCD 2 X 16.

Fuente: https://http2.mlstatic.com/D_NP_740462-MLM29416713254_022019-Q.jpg.

En la Tabla 18 se muestran las especificaciones técnicas de la LCD mencionada:

Tabla 18 Especificaciones técnicas de LCD.



Pin No	Name	Description
1	Vss	GND
2	Vdd	+5v
3	Vo	Contrast Control
4	RS	Register Select
5	R/W	Read/Write
6	E	Enable (<i>Strobe</i>)
7	D0	Data <i>LSB</i>
8	D1	Data
9	D2	Data
10	D3	Data
11	D4	Data
12	D5	Data
13	D6	Data
14	D7	Data <i>MSB</i>

Fuente: https://http2.mlstatic.com/D_NP_740462.

Se utilizan 5 pulsadores NA con retorno; uno para regresar al menú principal en caso de cometer un error al configurar y los otros 4 pulsadores son para seleccionar entre las cuatro opciones que brinda esta interfaz. Dos de estos 4 pulsadores se utilizan para confirmar la elección o regresar.

Inicialmente se simuló la programación del diagrama de bloques de la Figura 76 en un protoboard como se aprecia en las siguientes Figuras 77, 78 79.

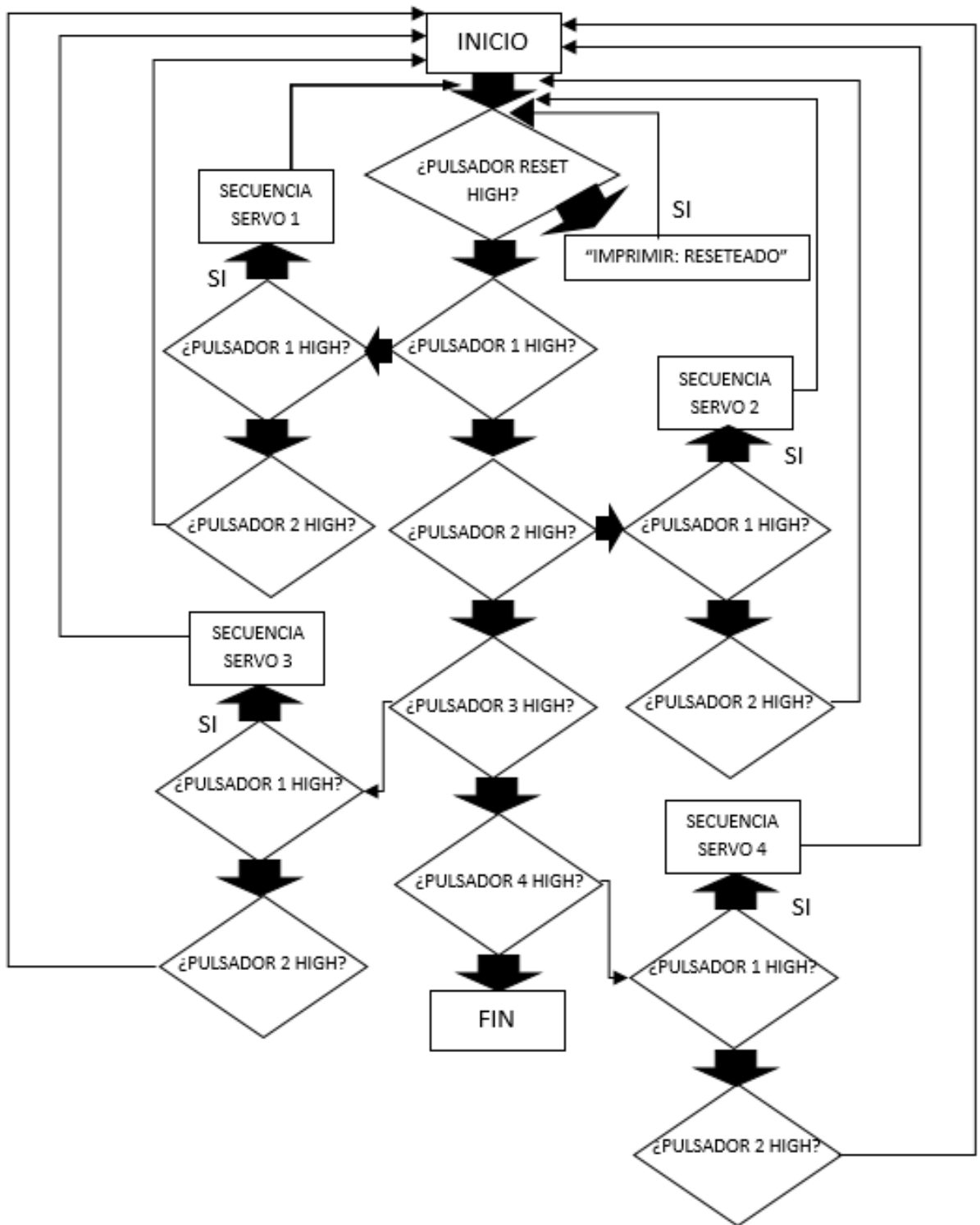


Figura 76. Diagrama de bloques de programación.

Fuente: Elaboración propia.

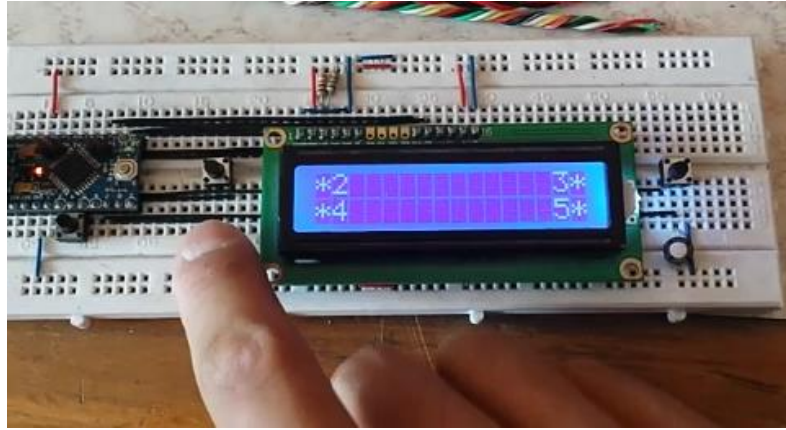


Figura 77. Circuito simulado y probado en el protoboard donde se observan las opciones de configuración que puede seleccionar el usuario mediante los pulsadores.

Fuente: Elaboración propia.

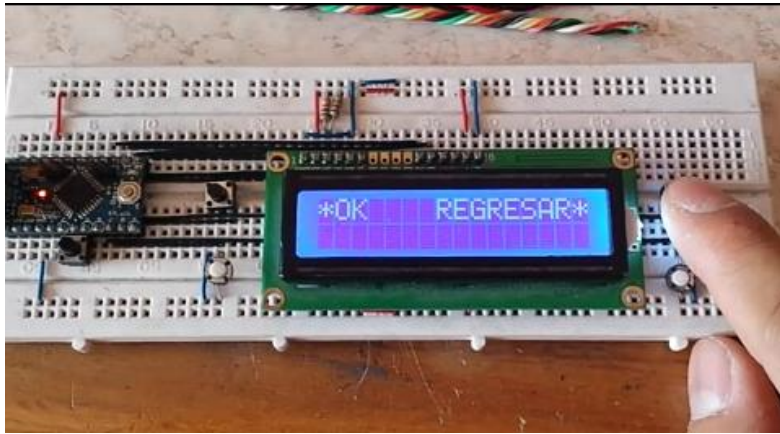


Figura 78. Circuito simulado y probado en el protoboard donde se observan las opciones OK y REGRESAR que puede seleccionar el usuario mediante los pulsadores.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 79. Circuito simulado y probado en el protoboard donde se observa el desarrollo de inmersión temporal mediante ciclos configurados para los cultivos.

Fuente: Elaboración propia.

Después de verificar un correcto funcionamiento del circuito, se procedió a diseñar una tarjeta o PCB para que contenga todo el circuito impreso.

3.6.3. Diseño de pcb o (printed circuit board)

Para el diseño de la PCB se utilizó el software PROTEUS Design Suit 8.1 (ver Figura 80), con sus componentes ISIS y ARES.



Figura 80. Portada del software PROTEUS.

Fuente: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQxY3F6XqH6-3xbjMiat3uKTnIzF-IbqjCjd3XhDbdxTAHWEu-y>.

Proteus Design Suite es un software de automatización de diseño electrónico, desarrollado por Labcenter Electronics Ltd., que consta de los dos programas principales: Ares e Isis.

El Programa ISIS, Inteligente Schematic Input System (Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente) permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar con componentes muy variados, desde simples resistencias, hasta alguno que otro microprocesador o microcontrolador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señales y muchos otros componentes con prestaciones diferentes. Los diseños realizados en Isis pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

Una de las prestaciones de Proteus, integrada con ISIS, es VSM, el Virtual System Modeling (Sistema Virtual de Modelado), una extensión integrada con ISIS, con la cual se puede simular, en tiempo real, con posibilidad de más rapidez; todas las características de varias familias de microcontroladores, introduciendo nosotros mismos el programa que controlará el microcontrolador y cada una de sus salidas, y a la vez, simulando las tareas que queramos que lleve a cabo con el programa. Se pueden simular circuitos con microcontroladores conectados a distintos dispositivos, como motores eléctricos, pantallas de cristal líquido (LCD), teclados en matriz, etc. Incluye, entre otras, las familias de microcontrolador PIC, tal como PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, PIC24 y dsPIC33. ISIS es el corazón del entorno integrado Proteus. Combina un entorno de diseño de una potencia excepcional con una enorme capacidad de controlar la apariencia final de los dibujos.

ARES, o Advanced Routing and Editing Software (Software de Edición y Ruteo Avanzado); es la herramienta de enrutado, ubicación y edición de componentes, se utiliza para la fabricación de placas de circuito impreso, permitiendo editar generalmente, las capas superficiales (Top Copper), y de soldadura (Bottom Copper).

Para el caso de utilizar Proteus en Windows, el software exige como mínimo en la computadora:

- SO: Windows XP SP3
- Procesador: 1.8 GHz
- Memoria: 3 GB de RAM
- Gráficos: Intel HD Tarjeta gráfica 3000
- Disco Duro: 100 MB de espacio libre

3.6.3.1. Diseño de circuito en entorno ISIS

Siguiendo en la etapa de diseño del circuito, se puede apreciar en las Figura 81 y 82, la interfaz del entorno ISIS del software Proteus.

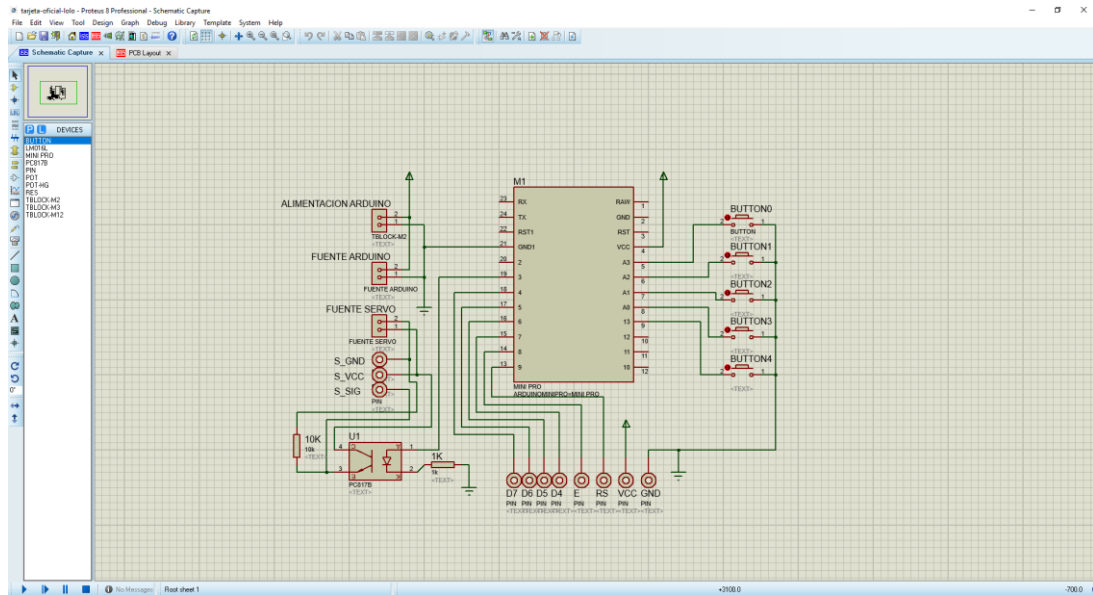


Figura 81. Entorno ISIS, donde se desarrolló el circuito de control del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

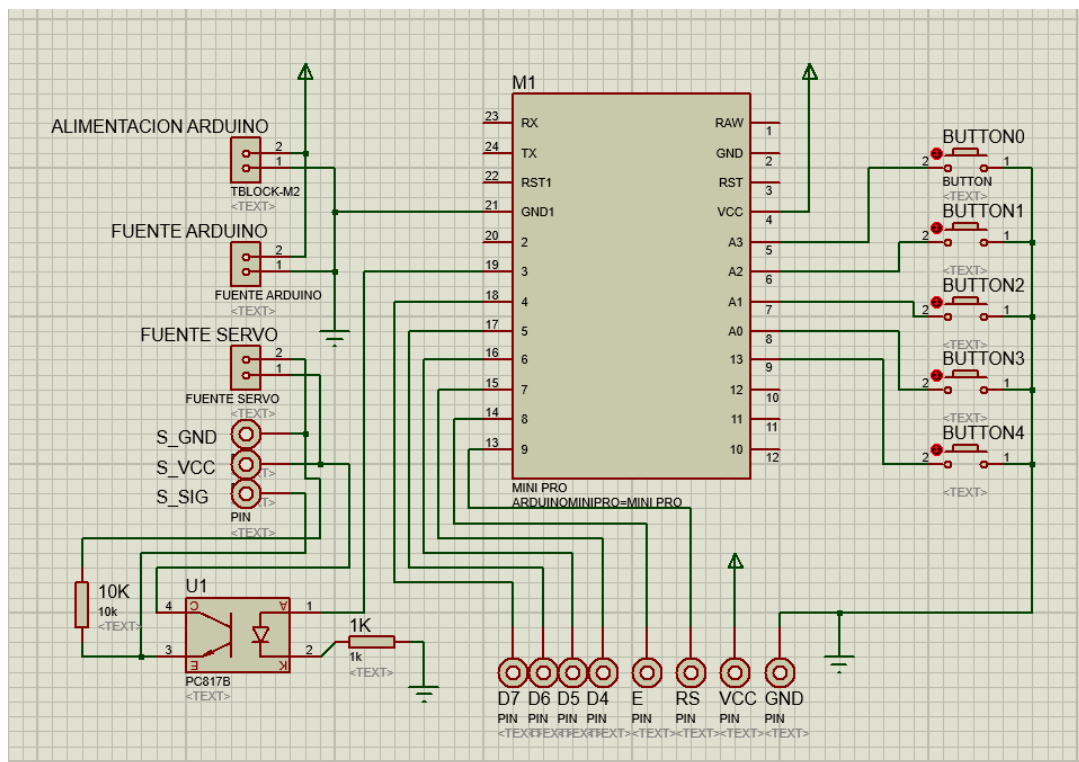


Figura 82. Zoom de entorno ISIS, donde se desarrolló el circuito de control del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la Figura 83, el circuito está compuesto de los siguientes componentes:

1. 01 Arduino Pro Mini, que es el componente ubicado en el centro de la imagen (ver Figura 83). Este elemento es el microcontrolador.

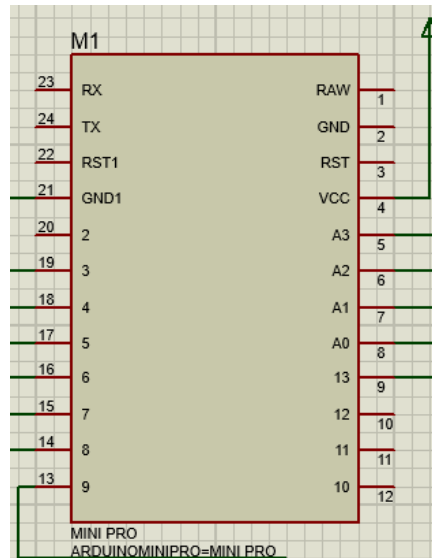


Figura 83. Arduino Pro Mini, entorno ISIS.

Fuente: Elaboración propia.

2. 03 borneras dobles (ver Figura 84), de las cuales solo utilizamos 02 para conectar las respectivas fuentes de alimentación. Una de las borneras es redundante para facilitar la ubicación de los componentes en la tarjeta impresa. Para evitar sobre corrientes y perturbaciones eléctricas en el circuito se utilizaron dos fuentes independientes de 5VDC, 500mA, para el Arduino y el servomotor, comunicados mediante un optoacoplador que veremos más adelante.

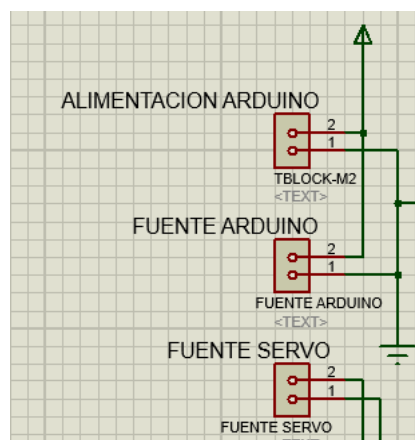


Figura 84. Borneras dobles para las fuentes.

Fuente: Elaboración propia.

3. 03 conectores para los pines del servomotor (ver Figura 85).

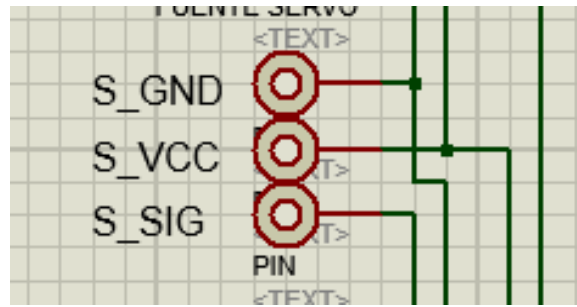


Figura 85. Pines para conectar el servomotor; pin de tierra, pin de fuente y pin de señal.

Fuente: Elaboración propia.

4. 01 optoacoplador PC817B con configuración pull down con resistencias de 10K y 1K (ver Figura 86).

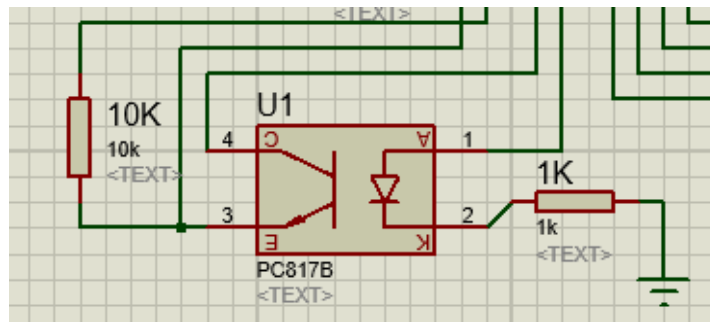


Figura 86. Optoacoplador y conexiones respectivas.

Fuente: Elaboración propia.

5. Pines de conexión para LCD (ver Figura 87).

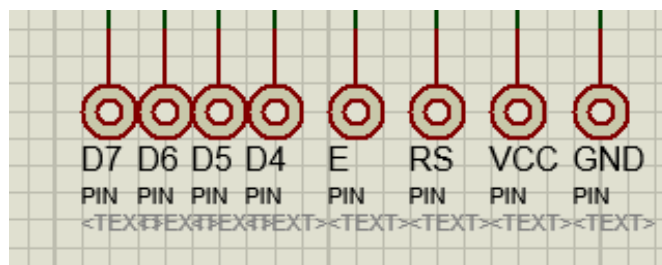


Figura 87. Pines de conexión para LCD.

Fuente: Elaboración propia.

- 05 pulsadores (ver Figura 88); 04 para seleccionar entre las 04 opciones de ciclos de inmersión. De los 04, se utilizan 02 para seleccionar OK o REGRESAR. Finalmente 01 más para retornar al menú principal.

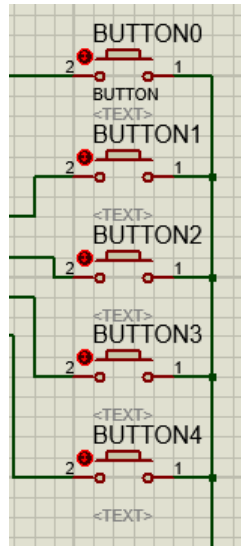


Figura 88. Cinco pulsadores.

Fuente: Elaboración propia.

En el entorno ARES, se diseñó la placa impresa del circuito del sistema (ver Figuras 89 y 90), se distribuyeron los componentes y se trazaron las rutas de conexión.

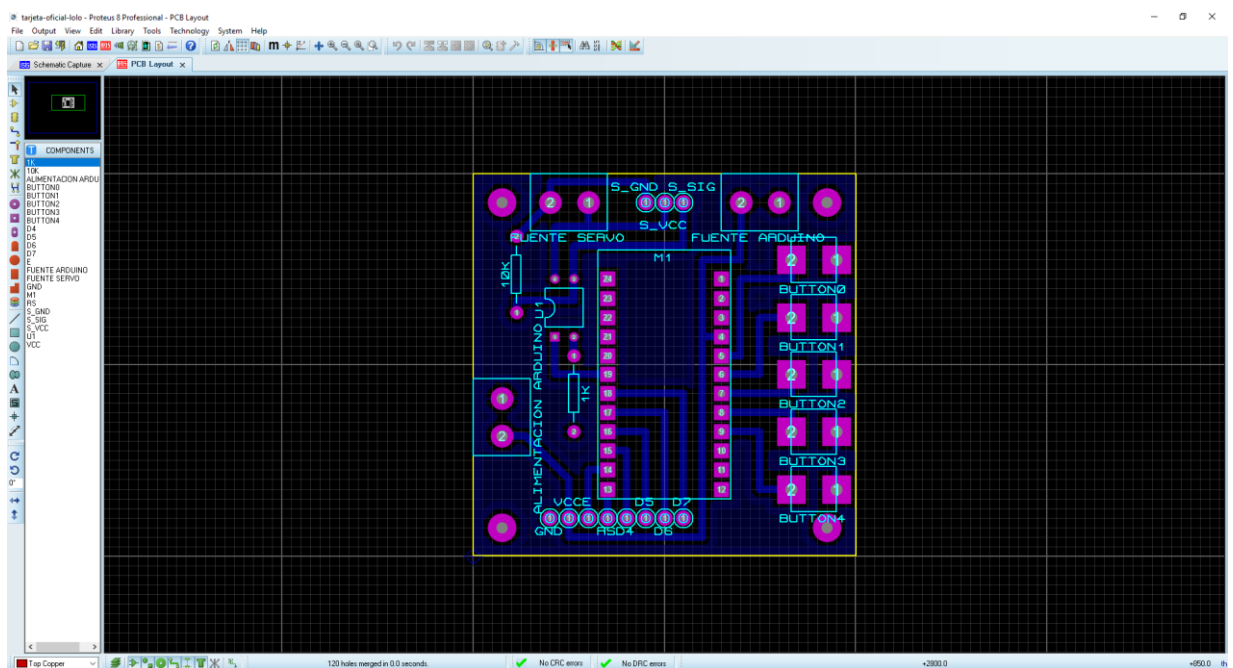


Figura 89. Diseño de PCB en entorno ARES.

Fuente: Elaboración propia.

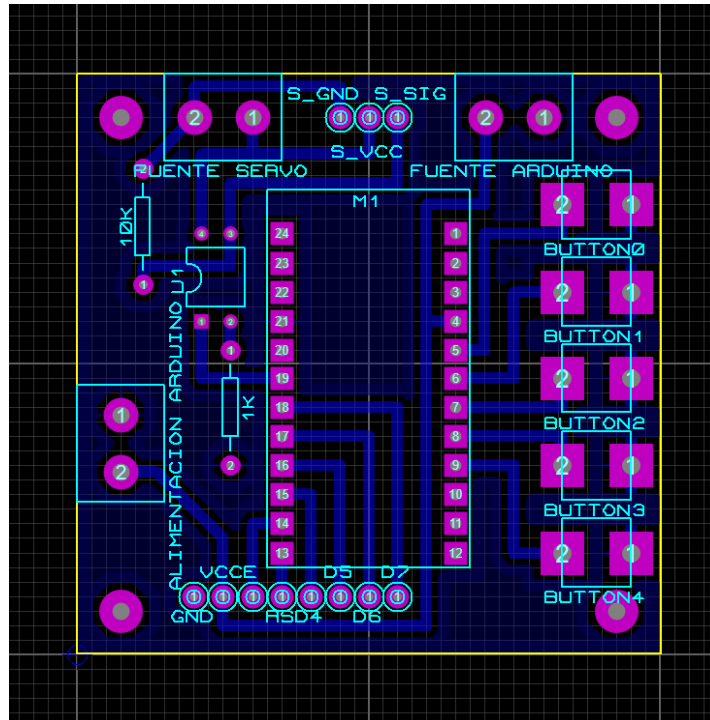


Figura 90. Diseño de PCB en interface ARES (zoom).

Fuente: Elaboración propia.

Gracias a PROTEUS podemos apreciar el modelo en 3D de la tarjeta electrónica o PCB (ver Figuras 91, 92 y 93), cada uno de sus componentes y sus respectivas conexiones.

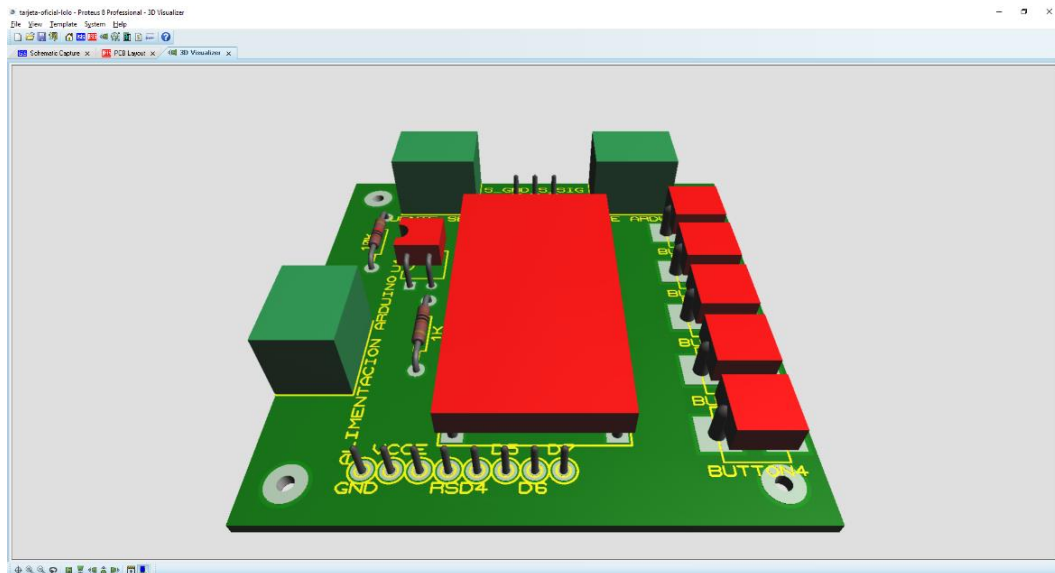


Figura 91. Modelo 3D de la PCB.

Fuente: Elaboración propia.

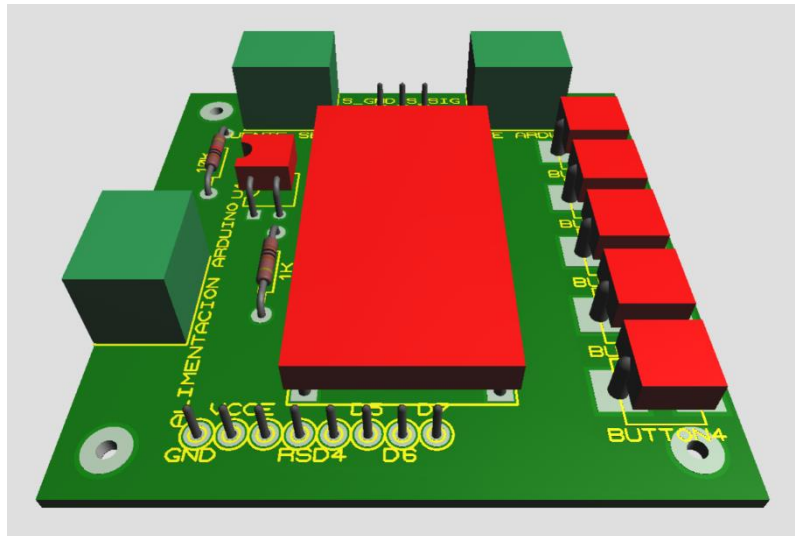


Figura 92. Modelo 3D de la PCB (zoom).

Fuente: Elaboración propia.

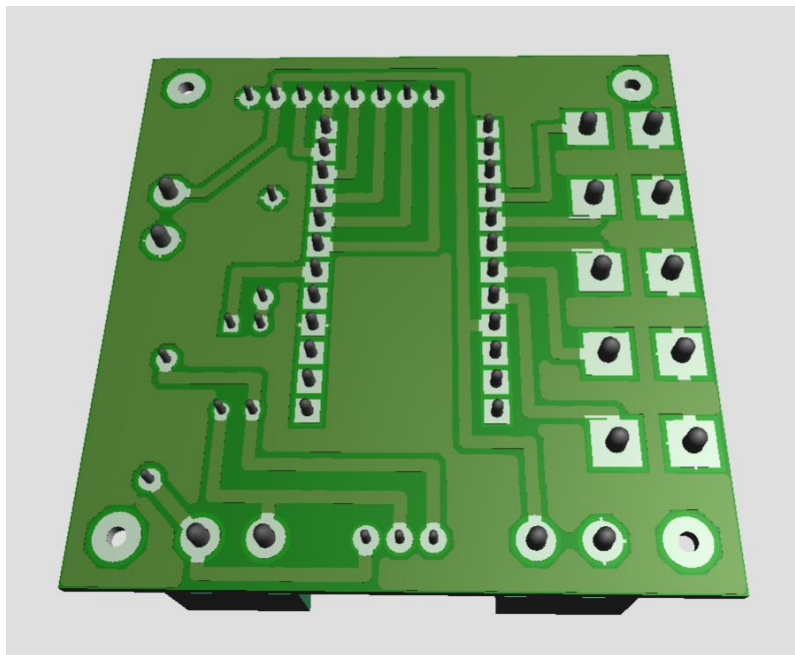


Figura 93. Modelo 3D de conexiones de los componentes (zoom).

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Implementación de tarjeta impresa y circuito

Para implementar el circuito se seleccionó como base, una placa de baquelita (ver Figura 94). En electrónica, una “placa de circuito impreso” (del inglés: Printed Circuit Board, PCB), es una superficie constituida por caminos, pistas o buses de material conductor laminadas sobre una base no conductora. El circuito impreso se utiliza para conectar

eléctricamente a través de las pistas conductoras, y sostener mecánicamente, por medio de la base, un conjunto de componentes electrónicos. Las pistas son generalmente de cobre, mientras que la base se fabrica generalmente de resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica, plástico, teflón o polímeros como la baquelita.

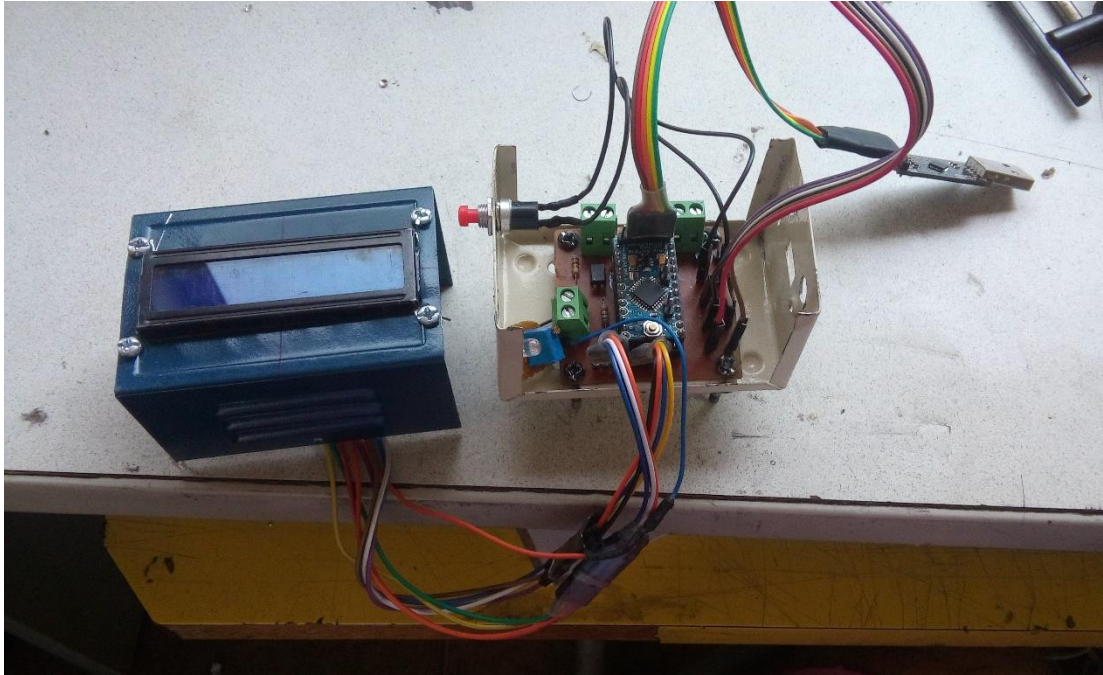


Figura 94. Imagen del circuito de control instalada dentro de chasis protector.

Fuente: Elaboración propia.

El material empleado para realizar circuitos impresos, se compone fundamentalmente del soporte y el conductor como se aprecia en la Figura 95.



Figura 95. Soporte, conductor y recubrimiento en una placa de circuitos impresos.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/tecnicasdeelaboraciondepcb-110621135406-phpapp01/95/tecnicas-de-elaboracion-de-pci-pcb-4-728.jpg?cb=1308664812>.

A continuación, se muestra una tabla (ver Tabla 19) comparativa de datos técnicos de los diferentes materiales de fabricación de placas de circuitos impresos.

Tabla 19 Materiales de placas de circuitos impresos.

Tipo	Fenólica XX	Fenólica XXP	Fenólica XXXP	Vidrio	Teflón
Soporte	Papel	Papel	Papel	Tejido de Vidrio	Tejido de Vidrio
Aglutinante	Fenólico	Fenólico	Fenólico	Epoxy	Teflón
Densidad	1,3	1,3	1,3	1,8	1,7
Absorción de agua en % durante 24 horas a 23° C	1,3	0,8	0,6	0,2	0,1
Resistencia superficial en $M\Omega \times cm/cm^2$	$3,4 \times 10^4$	3×10^4	10^6	10^6	10^5
Rigidez dieléctrica a 1MHz	2,25	2,4	3	3	3
Temperatura máxima continua °C	4,7	4,5	3,9	4,3	2,6
Adherencia mínima Kg/pulgada.	2,7	2,7	2,5	2	1,7
Resistencia al baño de soldadura segundos/°C	10/230	10/230	10/230	10/230	10/230

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/tecnicasdeelaboraciondepcb-110621135406-phpapp01/95/tecnicas-de-elaboracion-de-pci-pcb-4-728.jpg?cb=1308664812>.

Las placas de baquelita o fenólica son las más económicas, presentan menos dificultades para mecanizarlas, taladrar y trabajar. Para este sistema se seleccionó la baquelita, porque el circuito es un circuito simple de una capa y está protegido de manera electrónica contra ruidos y perturbaciones.

3.6.5. Programación y compilado del código

Para la programación y el compilado del código que gobierna el sistema, se utilizó el software ARDUINO, versión 1.6.13. Se anexa código de programación (ver página 136).

requiere para el encendido además del arrancador que también es adicional al equipo, con el consiguiente gasto de energía del sistema de enfriamiento que es mayor. En un piso de un estante se colocan 3 tubos fluorescentes de 40W lo que hace un total de 120W de consumo por piso y con una efectividad de alumbramiento de 70% en un estante de 1.80

m y de 80% en estantes de 1.50 m ya que los tubos fluorescentes son de 1.20 m por lo que no alcanzan a iluminar bien toda la superficie del piso del estante.

3.7. Iluminación de cultivos

Por recomendación del laboratorio, cada tubo fluorescente que se usa para iluminar los SIT consumen 40W por 1.20 m de longitud de tubo y genera calor debido al balasto que

Además, estos estantes generan mayor calor (tabla 20) por lo que es necesario hacer una conexión extra para alejar los balastos hacia otra área exterior o separar los pisos de los estantes con más distancia para no generar calor. El calor generado no solo implica mayor consumo de energía para el enfriamiento, sino también causa que el medio de cultivo pierda humedad rápidamente. De esta manera es obligatorio alejar los fluorescentes con balasto de la parte inferior de la superficie del piso superior. Otro factor adicional es que con esta iluminación se logra menor eficiencia de iluminación PAR necesaria para las plantas en comparación con la iluminación LED que es más efectiva.

Con la instalación de la iluminación LED 5050 en tiras, se cubre toda la superficie de cada piso del estante con un consumo de 15W por 1.00 m de longitud de tira. En dos tiras de 1.50 m de longitud tendremos 3,00 m total con un consumo total por piso de 30W. La efectividad de alumbramiento es de 100% ya que las tiras LED se pueden cortar y acondicionar a la medida exacta. Estas tiras LED requieren una fuente de alimentación ya que funcionan con 12V y en el mercado los venden en su mayoría con su adaptador. Para colocar las tiras en los estantes en el mercado están disponibles perfiles de aluminio con difusor de policarbonato.

Tabla 20 Fluorescente vs LED.

	Fluorescente	LED
<i>Contiene Mercurio y metales pesados</i>	SI	NO
<i>Usa cebador</i>	SI/NO(HFP)	NO
<i>Usa balastro</i>	SI	NO
<i>Genera energía reactiva</i>	SI	NO
<i>Consume con tubo fundido</i>	SI	NO
<i>Potencia tubo 60cms</i>	18W	9W
<i>Potencia tubo 120cms</i>	36W	18W
<i>Potencia tubo 150cms</i>	58W	22W
<i>Consumo balastro/driver 1x60cms</i>	3W-7W	1W
<i>Consumo balastro/driver 1x120cms</i>	5W-7W	2W
<i>Consumo balastro/driver 1x150cms</i>	7W-11W	3W
<i>Emite infrarrojos (IR)</i>	Si	NO
<i>Emite ultravioletas (UV)</i>	Si	NO
<i>Temperatura de superficie</i>	80°	40°
<i>Rango de temperatura de trabajo</i>	de 5° a 45°	de -20° a 60°
<i>Peligro por rotura</i>	SI	NO
<i>Tensión de trabajo</i>	240V	12V
<i>Riesgo eléctrico</i>	SI	NO
<i>Vida útil (en horas)</i>	6.000/17.000	50.000
<i>Vida media</i>	8.000/19.000	80.000
<i>Oscurece techos / decolora</i>	SI	NO
<i>Produce parpadeo durante el uso</i>	SI	NO
<i>Encendido instantáneo</i>	NO	SI
<i>Encendido a plena luminosidad</i>	NO	SI
<i>Sobre consumo por encendidos múltiples</i>	SI	NO
<i>Degradación lumínica por cada 3.000 horas</i>	30%	2%

Fuente: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcSYhkw-msGibD9uBppAOaHD0iHzJ3Wn9aoUOB5t0Yyy6ZKWIS2L>.

CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada una de las pruebas planteadas. Estos resultados fueron el indicativo del eficiente diseño realizado y sobre todo servirá como referencia en cuanto al cumplimiento de los objetivos propuestos y confirmación de la hipótesis.

4.1. Pruebas de funcionamiento

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del SIT automatizado con la finalidad de comprobar y verificar la operatividad de cada parte del sistema, es decir, programación correcta de parámetros de inmersión, control correcto sobre el servomotor, conteo correcto de ciclos y tiempo de giro de la rejilla. Las pruebas fueron fundamentales, debido a que, si nuestro SIT funcionaba sin ningún tipo de dificultad y todo el sistema se mantiene intacto desde el inicio hasta el final, confirmaba que se realizó una correcta selección técnica de los dispositivos que integran el sistema.

4.1.1. Concentración de medios de cultivos (mg/l)

Tabla 21 Concentración de medios de cultivos

Constituyente	MS *	WPM **	B5 ***
KNO ₃	1900	990	2500
NH ₄ NO ₃	1650	400	
NH ₄ H ₂ PO ₄			
(NH ₄) ₂ SO ₄			134
MgSO ₄ ·7H ₂ O	370	180.7	250
CaCl ₂ ·2H ₂ O	440	84.2	150
Ca (NO ₃) ₂ ·4H ₂ O		471.2	
KH ₂ PO ₄	170	170	
NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O			150
MnSO ₄ ·H ₂ O		22.3	10.0
MnSO ₄ ·4H ₂ O	22.3		
KI	0.83		0.75
H ₃ BO ₃	6.2	6.2	3.0
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	8.6	8.6	2.0
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.025	0.25	0.025
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.25	0.25	0.25
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.025	0.025	0.025
FeSO ₄ ·7H ₂ O	27.8	27.8	27.8
Na ₂ EDTA	37.3	37.3	37.3
Nicotinic acid	0.5	0.5	1.0
Pyridoxine-HCl	0.5	0.5	1.0
Thiamine-HCl	0.1	1.0	10.0
<i>myo</i> -Inositol	100	100	100
Glycine	2.0	2.0	
Sucrose	30000	30000	30000

Fuente: Laboratorio Nutriarandanos s.a.c.

4.1.2. Programación de ciclos de inmersión

Para el desarrollo de la programación y opciones de tiempo y ciclos de inmersión se contó con la participación del personal del laboratorio ya que son los expertos.

4.1.3. Prueba de inmersión temporal 1

Cultivo: **Arándano** (*Vaccinium corymbosum* L.)

Duración del crecimiento de las microplantas en SIT: 35 a 45 días

Número de brotes instalados por envase: 50

Tabla 22 Prueba de inmersión temporal 1

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
2 ciclos – 12 horas	3.0	150

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Prueba de inmersión temporal 2

Cultivo: **Arándano** (*Vaccinium corymbosum* L.)

Duración del crecimiento de las microplantas en SIT: 35 a 45 días

Número de brotes instalados por envase: 50

Tabla 23 Prueba de inmersión temporal 2

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
3 ciclos – 8 horas	4.5	225

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Prueba de inmersión temporal 3

Cultivo: **Arándano** (*Vaccinium corymbosum* L.)

Duración del crecimiento de las microplantas en SIT: 35 a 45 días

Número de brotes instalados por envase: 50

Tabla 24 Prueba de inmersión temporal 3

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
5 ciclos – 5 horas	2.6	130

Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. Prueba de inmersión temporal 4

Cultivo: **Arándano** (*Vaccinium corymbosum* L.)

Duración del crecimiento de las microplantas en SIT: 35 a 45 días

Número de brotes instalados por envase: 50

Tabla 25 Prueba de inmersión temporal 4

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
6 ciclos – 4 horas	2.1	105

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7. Prueba de inmersión temporal 5

Cultivo: **Piña** (*Ananas comosus* L. Merr)

Duración del crecimiento de las microplantas en SIT: 30 a 40 días

Número de brotes instalados por envase: 20

Tabla 26 Prueba de inmersión temporal 5

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
2 ciclos – 12 horas	3.4	69

Fuente: Elaboración propia.

4.1.8. Prueba de inmersión temporal 6

Cultivo: **Piña** (*Ananas comosus* L. Merr)

Duración del crecimiento de las microplantas en SIT: 30 a 40 días

Número de brotes instalados por envase: 20

Tabla 27 Prueba de inmersión temporal 6

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
3 ciclos – 8 horas	8.0	160

Fuente: Elaboración propia.

4.1.9. Prueba de inmersión temporal 7

Cultivo: **Piña** (*Ananas comosus* L. Merr)

Duración del crecimiento de las microplantas en SIT: 30 a 40 días

Número de brotes instalados por envase: 20

Tabla 28 Prueba de inmersión temporal 7

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
5 ciclos – 5 horas	2.2	44

Fuente: Elaboración propia.

4.1.10. Prueba de inmersión temporal 8

Cultivo: **Piña** (*Ananas comosus* L. Merr)

Duración del crecimiento de las microplantas en SIT: 30 a 40 días

Número de brotes instalados por envase: 20

Tabla 29 Prueba de inmersión temporal 8

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
6 ciclos – 4 horas	1.6	32

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Resultados

4.2.1. Prueba con arándano

En el caso del arándano, cada ciclo de propagación puede durar de 35 a 45 días dependiendo de la variedad, con una mejor tasa de multiplicación en 3 ciclos de inmersión cada 8 horas. Según muestra la tabla 30, durante este periodo los explantes colocados formaran nuevos brotes elongados de 4 cm de altura, de lo cual se obtiene una tasa de multiplicación de 4.5 nuevos explantes promedio. Luego podrán ser extraídos del contenedor los brotes desarrollados, cortados y nuevamente colocados en otro contenedor para iniciar nuevamente el ciclo de cultivo (ver Figura 96).

Tabla 30 Prueba de inmersión temporal de arándano.

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
2 ciclos – 12 horas	3.0	150
3 ciclos – 8 horas	4.5	225
5 ciclos – 5 horas	2.6	130
6 ciclos – 4 horas	2.1	105

Fuente: Elaboración propia.



Figura 96. Imagen del cultivo de arándano obtenido.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 97, observamos una gráfica de resultados de prueba de inmersión de arándano.

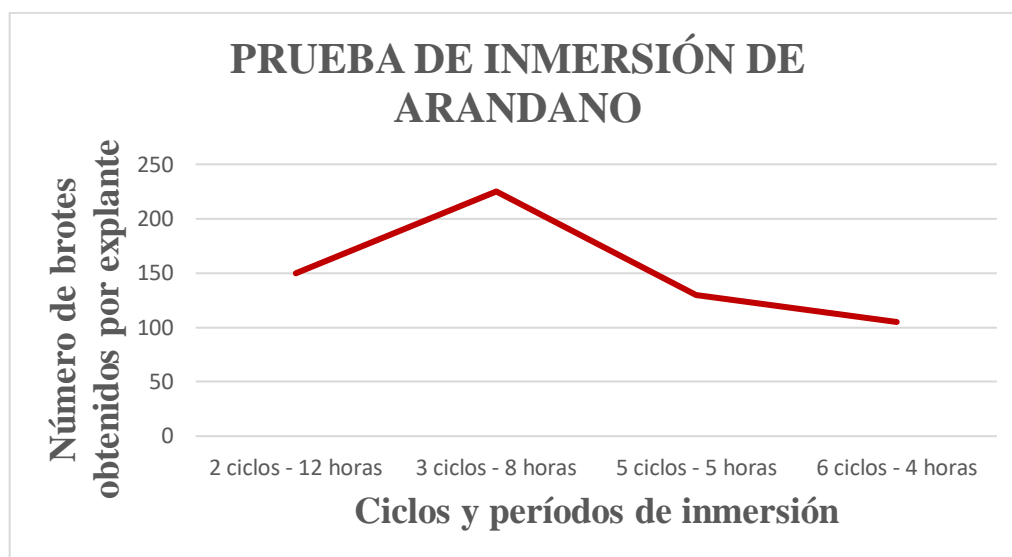


Figura 97. Imagen del cultivo de arándano obtenido.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Prueba con piña

Para el caso de la piña cada ciclo de multiplicación puede durar de 30 a 40 días dependiendo de la variedad y la mejor tasa de multiplicación se puede lograr con 3 ciclos de inmersión al día cada 8 horas según muestra la Tabla 31. Se colocan explantes en cada contenedor y a partir de estos se formarán nuevas yemas de diferentes dimensiones, en promedio 3 cm de longitud. La tasa de multiplicación de mejor resultado en este caso es de 8.0 yemas por explante (ver Figura 98). Después de este periodo se separan las yemas formadas y las más grandes son transferidas a nuevos contenedores de multiplicación.

Tabla 31 Prueba de inmersión temporal de piña.

Ciclos de inmersión	Tasa de multiplicación	Número de brotes obtenidos por explante
2 ciclos – 12 horas	3.4	69
3 ciclos – 8 horas	8.0	160
5 ciclos – 5 horas	2.2	44
6 ciclos – 4 horas	1.6	32

Fuente: Elaboración propia.



Figura 98. Imagen del cultivo de piña obtenido .

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 99, observamos una gráfica de resultados de prueba de inmersión de arándano.

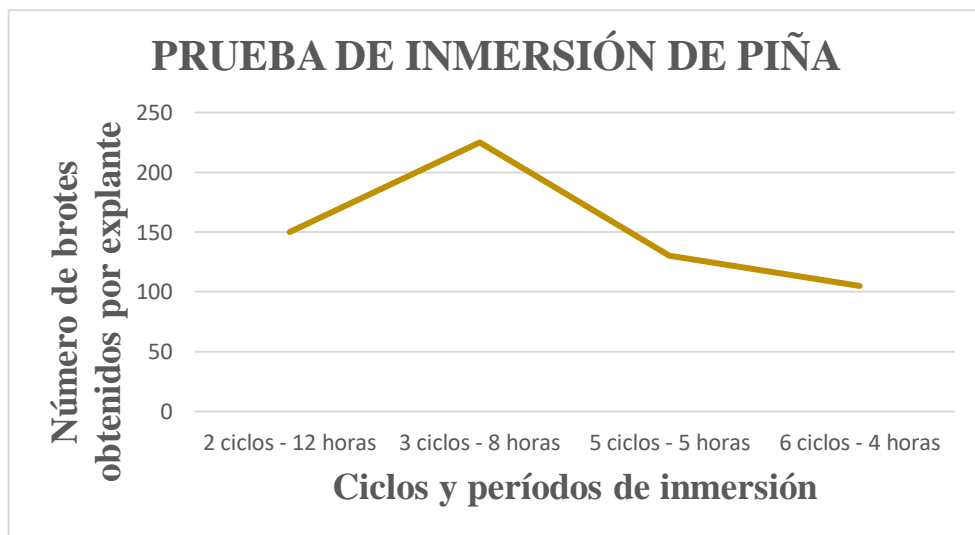


Figura 99. Imagen del cultivo de piña obtenido.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Costos y presupuesto

Tabla 32 Costo y presupuesto

PRESUPUESTO			
Título: Diseño e implementación de un sistema de inmersión temporal automatizado para cultivos de arándano y piña en los laboratorios de Nutriarandanos s.a.c.			
Descripción	Precio parcial (soles)	Cantidad (unidades)	Precio total (soles)
Parte mecánica			
Ángulo ranurado por metro	07	04	28
Pieza metálica ranurada para unir ángulos	01	04	04
Perno de acero inoxidable M9 + tuerca	08	06	48
Malla de gallinero por metro	05	01	05
Parte electrónica			
Arduino mini pro	13	01	13
Fuente de alimentación 5 VDC	12	02	24
Componentes electrónicos (placa, diodos, resistencias, cables, pulsadores, etc.)	20	01	20
Servomotor 12 Kg	60	01	60
Caja de metal para proteger circuito	12	01	12
Documentos			
Impresión de documentos	0.5	300	150
Folder manila	0.8	04	3.2
Solicitud valorada	10	04	40
Licencias de software			
Licencia gratuita de Solid Works SDK	01	00	00
Transporte			
Auto propio (gasolina en galones)	40	12	480
TOTAL			887

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 32, para desarrollar este proyecto se invirtieron S/887 y 1 mes de tiempo. Para adquirir un SIT convencional, se tiene que realizar la compra en el extranjero e importar los equipos. Esto involucra costos extra de aduanas, transporte y tiempo de espera. Así mismo, en caso de requerir algún repuesto del sistema mencionado, se tiene que pagar nuevamente todos los sobrecostos.

Por el contrario, el sistema que fue desarrollado en esta tesis, se implementó en poco tiempo y a un costo bastante menor que lo convencional. Un sistema de inmersión temporal con aire comprimido puede llegar a costar 6,300.00 USD incluyendo compresor de aire, mangueras, temporizadores, etc.

CONCLUSIONES

De la presente investigación podemos citar las siguientes conclusiones:

- 1) Ha sido posible diseñar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido de los explantes, para ello, se levantaron observaciones y necesidades del personal del laboratorio. Posteriormente, se elaboraron los planos mecánicos del sistema para separar el medio líquido del cultivo, lo cual se logró exitosamente.
- 2) Ha sido posible implementar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido y los explantes. En base a los planos previamente mencionados y los materiales que se emplean en la construcción de los estantes del laboratorio, se desarrolló un prototipo funcional y finalmente, se implementó el sistema que fue instalado para hacer pruebas. Las pruebas se consideraron exitosas.
- 3) Ha sido posible controlar un sistema electromecánico capaz de separar de manera eficiente el medio líquido y los explantes. En base a las observaciones y gracias a la colaboración del personal del laboratorio, se programó el sistema bajo los parámetros requeridos. Se desarrolló un circuito capaz de controlar de manera precisa y eficiente el movimiento de la rejilla. Así mismo, se desarrolló una interfaz intuitiva, fácil de entender y utilizar.
- 4) En el caso del arándano dependiendo de la variedad, cada ciclo de propagación puede durar de 35 a 45 días con una mejor tasa de multiplicación en 3 ciclos de inmersión cada 8 horas.
- 5) Para el caso de la piña cada ciclo de multiplicación puede durar de 30 a 40 días dependiendo de la variedad y la mejor tasa de multiplicación se puede lograr con 3 ciclos de inmersión al día cada 8 horas.

RECOMENDACIONES

- 1) A partir de los resultados obtenidos con la interfaz de control propuesta. se alienta a implementar el sistema de control desarrollado en esta tesis, con la garantía que el sistema pueda ser gobernado sin problemas.
- 2) Se recomienda que, para trabajos futuros sobre sistemas de inmersión temporal, se considere diseñar una estructura en la que se puedan utilizar más bolsas con semillas y medio líquido, pero sin limitar la iluminación que necesitan las plantas.
- 3) Se puede optimizar la interfaz de este SIT. Se puede implementar una pantalla táctil para la selección de parámetros de inmersión. Así también se puede mejorar la programación del sistema para que el usuario cambie sus parámetros en cada una de las opciones entre las cuales puede seleccionar. En este sistema el programador solo puede programar 4 opciones de inmersión.
- 4) Se sugiere estar atento siempre a la carga que se requiere rotar en el sistema y redimensionar el servomotor en caso de ser necesario.
- 5) Se recomienda emplear biorreactores (ver Figura 100) que actualmente se utilizan en la industria de los SIT para aumentar la cantidad de plantas y calidad de éstas. Un biorreactor es un recipiente hecho de plástico que permite conservar la hermeticidad y brinda practicidad para propagar plantas.



Figura 100. Imagen de bioreactores.

Fuente: Internet.

- 6) De contar con mayor presupuesto, también se recomienda utilizar mallas electrosoldadas, pues son de mejor calidad, resistentes a la corrosión y más duras.
- 7) Se recomienda programar una alarma para cuando termina cada ciclo de inmersión y así aparte de tener una referencia visual, también podría haber una sonora.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 330 ohms (2016). *Arduino mini, micro y nano ¿Qué tan diferentes son?* Fecha de consulta 12 de abril del 2018. Disponible en; <https://330ohms.com/blogs/blog/114183172-arduino-mini-micro-y-nano-que-tan-diferentes-son>.
- Abdelnour-Esquivel, A, y Vincent, J. (1994). *Conceptos básicos del cultivo de tejidos vegetales*. Turrialba, Costa Rica: Catie.
- Aie (2018). *Actuadores*. Fecha de consulta 20 de abril del 2019. Disponible en; <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>.
- Albarracín, P. (2012). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de inmersión temporal frente al método de propagación convencional en la multiplicación IN VITRO de cilantro cimarrón a partir de hojas, yemas y segmentos nodales* (tesis de pregrado). Escuela politécnica del ejército, Sangolquí, Ecuador.
- Arduino. (2018). *Arduino*, Fecha de consulta 11 de abril del 2018. Disponible en: <https://goo.gl/8YLUOm>.
- Automatización (2011). *Automatización*. Fecha de consulta 12 de abril del 2018. Disponible en: <http://www.sc.edu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>.
- Azúa, R. (2017). *Diseño y automatización de un sistema de inmersión temporal para acelerar el crecimiento de las plantas*. (tesis de especialización). Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Bioenciclopedia (2019). *Piña*. Fecha de consulta 12 de abril del 2019. Disponible en; <http://www.bioenciclopedia.com/pina/>.
- Calisaya, D. (2014). *Desarrollo de un protocolo para el establecimiento y multiplicación in vitro de Vaccinium Corymbosum L. (arándano de arbusto alto) variedad*

Misty, a partir de segmentos nodales en un Reactor de Inmersión Temporal (tesis de pregrado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

Canal13c (2013). *Todo por la ciencia*. Fecha de consulta 14 de abril del 2019. Disponible en; <https://www.youtube.com/watch?v=6mSGtLzlcUg>.

Cárdenas, A. (2015). *Validación y desarrollo de una tecnología para la multiplicación in vitro de Paulownia elongata, Paulownia fortunei y un híbrido bajo sistemas de propagación convencional e inmersión temporal* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, Ecuador.

Ecured (2013). *Sistema de inmersión temporal*. Fecha de consulta 14 de abril del 2018. Disponible en; https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal.

El País (2017). *El arándano ayuda a cuidar los riñones*. Fecha de consulta 13 de abril del 2018. Disponible en; <https://www.elpaonline.com/index.php/sociales-2/item/243506-el-arandano-ayuda-a-cuidar-los-rinones>.

Freshplaza (2018). *Perú incrementará su producción de arándanos en este año 2018*. Fecha de consulta 22 de noviembre del 2019. Disponible en; <https://www.freshplaza.es/article/9030904/peru-incrementaria-su-produccion-de-arandanos-en-este-ano-2018/>.

Frutas-hortalizas (2016). *Presentación arándano*. Fecha de consulta 13 de abril del 2018. Disponible en; <https://www.frutashortalizas.com/Frutas/Presentacion.Arandon.html>.

Gerardo Cubides (2015). *Diseño sistemas de control*. Fecha de consulta 20 de abril del 2019. Disponible en; <https://gerardocubides.wordpress.com/disenosistemasdecontrol/>.

Herramientas empresariales (2019). *Automatización de los procesos industriales*. Fecha de consulta 14 de abril del 2019. Disponible en; (<http://herramientas.camarama>

dellin.com.co/Inicio/Buenaspracticasesmpresariales/BibliotecaProducci%C3%B3nOperaciones/Automatizaci3n delosprocesosindustriales.aspx).

Ignacio Torre (2013). *La semilla*. Fecha de consulta 12 de abril del 2019. Disponible en; <https://es.slideshare.net/NachoTorre/tema-1-la-semilla>.

Infoagro (2014). *El cultivo del arándano*. Fecha de consulta 14 de abril del 2019. Disponible en; https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_arandano.asp.

Instituto Argentino de automatización industrial (2010). *Introducción al control automático de procesos*. Fecha de consulta 12 de abril del 2019. Disponible en; <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/subpaginas/Piping/control%20de%20procesos.htm>.

Juntadeandalucia.es (2015). *Motores de corriente alterna*. Fecha de consulta 13 de abril del 2019. Disponible en; <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centrostitic/21700290/helvia/aula/archivos/repositorio/0/29/html/Motores%20de%20corriente%20alterna.htm>.

Lampadia (2015). *La agricultura peruana tiene un gran futuro*. Fecha de consulta 12 de abril del 2019. Disponible en; <https://www.lampadia.com/analisis/recursos-naturales/la-agricultura-peruana-tiene-un-gran-futuro/>.

Llanos. C. (2015). *Micropropagación in vitro de piña, ananas comosus bajo un sistema de biorreactores de inmersión temporal*. (tesis de pregrado). UNSM, Lima, Perú.

Maldonado, E. (2003). *Diseño y construcción de un sistema de inmersión temporal*. Centro Agrícola, Nuevo León, México.

Ministerio de agricultura de Chile. (2009). *Resultados y lecciones en sistema de inmersión temporal*. Chile.

- Orellano, J, Dellagiovanna, A, Imanishi, L, Mazzone, V, y Faedo, N. (2016). *Sistema de inmersión temporal: automatización de propagación in vitro de plantas utilizando herramientas libres*. Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires, Argentina.
- Panamahitek (2016). *¿Que es y cómo funciona un servomotor?* Fecha de consulta 12 de abril del 2018. Disponible en; <http://panamahitek.com/que-es-y-comofunciona-un-servomotor>.
- Peru.info (2018). *Perú es el tercer mayor exportador mundial de arándanos*. Fecha de consulta 13 de abril del 2018. Disponible en; <https://peru.info/es-pe/comercio-exterior/noticias/7/29/peru-es-el-tercer-mayor-exportador-mundial-de-arandanos>.
- Promperu (2018). *Servicio especializado para levantamiento de información Logística para exportación de piña al estado de new york – estados unidos y Santiago de chile - chile*. Fecha de consulta 22 de noviembre del 2019. Disponible en; <http://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/48019906radF3702.pdf>.
- Rosales, E, Rodríguez, L, Alvarado, O, y Cárdenas, M. (2013). *Diseño y construcción de un sistema de inmersión temporal*. Centro Agrícola, Holguín, Cuba.
- SolidWorks (2018). *Dassault systemes*. Fecha de consulta 11 de abril del 2018. Disponible en: goo.gl/U0RecN.
- Solórzano, R. (2016). *Diseño y construcción de un sistema de biorreactores de inmersión temporal para la multiplicación de Ananas comosus* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Sonnino A, y Ruane J. (2016). *La innovación en agricultura como herramienta de la política de seguridad alimentaria: el caso de las biotecnologías agrícolas*. Universidad de Bologna, Bologna, Italia.
- Vázquez, C, Orozco, A, Rojas, M, Sánchez, M, y Cervantes, V. (1997). *Como viven las plantas*. México DF, México: Fondo de cultura económica.

Ventageneradores.net (2015). *Todos los tipos de motores eléctricos*. Fecha de consulta 13 de abril del 2019. Disponible en; <http://www.ventageneradores.net/blog/todos-los-tipos-de-motores-electricos/>.

Wikipedia (2012). *Sistema de control*. Fecha de consulta 14 de abril del 2019. Disponible en; https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_control.

Wikipedia (2012). *Motor*. Fecha de consulta 14 de abril del 2019. Disponible en; <https://es.wikipedia.org/wiki/Motor>.

Wikipedia (2011). *Motor de dos tiempos*. Fecha de consulta 12 de abril del 2019. Disponible en; https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_dos_tiempos.

Wikipedia (2011). *Ciclo de cuatro tiempos*. Fecha de consulta 12 de abril del 2019. Disponible en; https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_cuatro_tiempos.

Xataka (2018). *Qué es arduino*. Fecha de consulta 20 de abril del 2019. Disponible en; <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>.

ANEXOS

Anexo 1: Carta de autorización para desarrollar tesis en los laboratorios de Nutriarandanos s.a.c.

Lima, 13 de junio de 2019

Estimada Dra. Aida Vadillo Gutiérrez,

Asunto: Autorización para utilizar y analizar la información en desarrollo de Tesis: "Diseño e implementación de un Sistema de Inmersión Temporal Automatizado para cultivos de Arándano y Piña en los laboratorios de Nutriarandanos S.A.C."

Sirva la presente para, en mi calidad de Gerente General y por tanto en nombre y representación de la empresa Nutriarandanos S.A.C. autorizar expresamente al señor Walter Marcelo Corvacho Cárdenas, con DNI N° 47129679, quien colaborara con mi representada, entre el 07 de enero y 15 de mayo del presente año, pueda utilizar y analizar la información así como las instalaciones de nuestra empresa a fin de poder desarrollar y culminar la tesis: **"Diseño e implementación de un Sistema de Inmersión Temporal Automatizado para cultivos de Arándano y Piña en los laboratorios de Nutriarandanos S.A.C."** lo que le permitirá obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico en la Universidad Ricardo Palma.

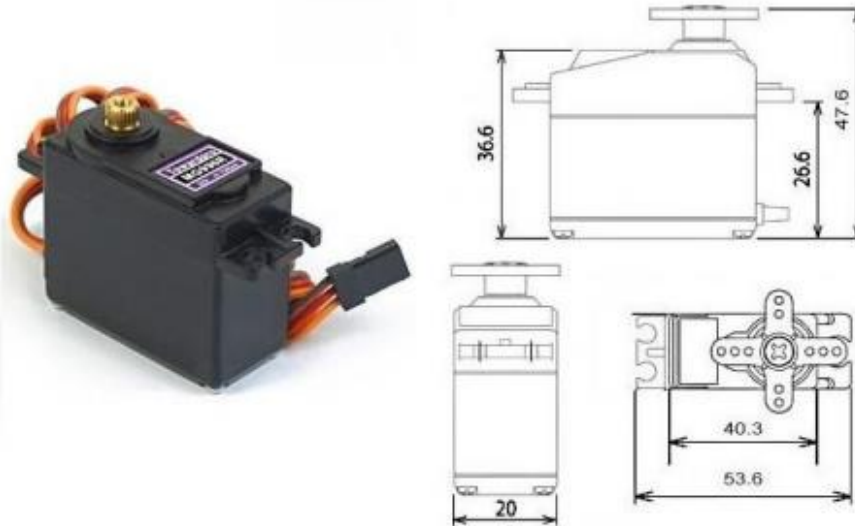
Sin otro en particular, quedo de usted.

Atentamente,


NUTRIARANDANOS SAC.
ELIZABETH IDROGO CABEZAS
Gerente General REPRESENTANTE LEGAL
Nutriarandanos S.A.C.

Anexo 2: Hoja de datos del servomotor.

MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo



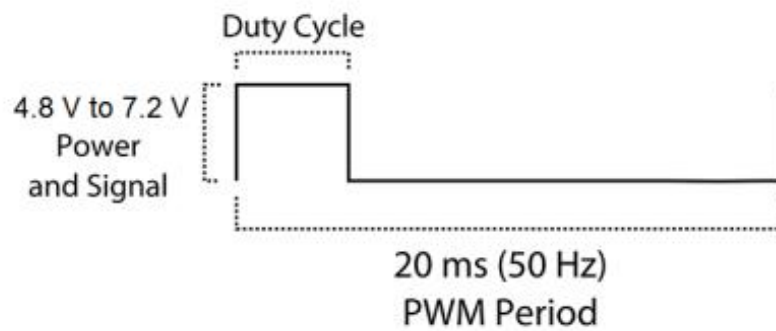
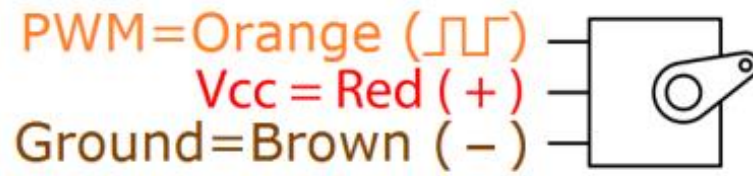
This High-Torque MG996R Digital Servo features metal gearing resulting in extra high 10kg stalling torque in a tiny package. The MG996R is essentially an upgraded version of the famous MG995 servo, and features upgraded shock-proofing and a redesigned PCB and IC control system that make it much more accurate than its predecessor. The gearing and motor have also been upgraded to improve dead bandwidth and centering. The unit comes complete with 30cm wire and 3 pin 'S' type female header connector that fits most receivers, including Futaba, JR, GWS, Cirrus, Blue Bird, Blue Arrow, Corona, Berg, Spektrum and Hitec.

This high-torque standard servo can rotate approximately 120 degrees (60 in each direction). You can use any servo code, hardware or library to control these servos, so it's great for beginners who want to make stuff move without building a motor controller with feedback & gear box, especially since it will fit in small places. The MG996R Metal Gear Servo also comes with a selection of arms and hardware to get you set up nice and fast!

Specifications

- Weight: 55 g
- Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Stall torque: 9.4 kgf·cm (4.8 V), 11 kgf·cm (6 V)
- Operating speed: 0.17 s/60° (4.8 V), 0.14 s/60° (6 V)

- Operating voltage: 4.8 V a 7.2 V
- Running Current 500 mA – 900 mA (6V)
- Stall Current 2.5 A (6V)
- Dead band width: 5 μ s
- Stable and shock proof double ball bearing design
- Temperature range: 0 °C – 55 °C



Anexo 3: Familias de Arduino.

La familia **Arduino** tiene una gran variedad de **placas** y **shields** para usar dependiendo del tipo de proyecto que querramos realizar.

La **shield** es una placa compatible que es utilizada para extender las especificaciones técnicas de los **arduinios**.

ARDUINO MEGA:

Es la placa con mejores prestaciones y más potente y el que más pines **I/O**, utilizado para proyectos más complejos aunque tengamos que sacrificar un poco el espacio, cuenta con el microcontrolador **Atmega2560** con más memoria para el programa, más **RAM** y más pines que el resto de los modelos.



Arduino Mega posee las siguientes especificaciones:

- Microcontrolador: ATmega2560.
- Voltaje Operativo: 5V.
- Voltaje de Entrada: 7-12V.
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20V.
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16.
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA.

ARDUINO UNO:

Es la placa mas popular y con más documentación en diferentes formatos. Salió a la luz en septiembre de 2010 sustituyendo su predecesor **Duemilanove** con varias mejoras de hardware que consisten básicamente en el uso de un **USB HID** propio en lugar de utilizar un conversor **FTDI** para la conexión **USB**. Es **100%** compatible con los modelos **Duemilanove** y **Diecimila**. Viene con un **Atmega328** con **32Kbytes** de **ROM** para el programa.



Arduino UNO posee las siguientes especificaciones y características

- Microcontrolador: ATmega328.
- Voltaje Operativo: 5v.
- Voltaje de Entrada (Recomendado): 7 - 12 v.
- Pines de Entradas/Salidas Digital: 14 (De las cuales 6 son salidas PWM)
- Pines de Entradas Análogas: 6.
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 0,5 KB es usado por Bootloader.
- SRAM: 2 KB (ATmega328)

Arduino Uno Rev3 es una placa de microcontrolador basada en el **ATmega328P**. Tiene **14 pines de entrada / salida digital** (de los cuales 6 se pueden usar como salidas **PWM**), **6 entradas analógicas**, un **crystal de cuarzo de 16 MHz**, una conexión **USB**, un conector de alimentación, un encabezado **ICSP** y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable **USB** o enciéndalo con un adaptador de **CA a CC** o una batería para comenzar. Puede jugar con su **UNO** sin preocuparse demasiado por hacer algo mal, en el peor de los casos puede reemplazar el Chip y empezar de nuevo.

ARDUINO UNO WIFI:

El **Arduino Uno WiFi** es funcionalmente el mismo que el **Arduino Uno Rev3**, pero con la adición de **WiFi** y algunas otras mejoras. Incorpora un nuevo microprocesador de **8 bits de Microchip** y tiene una **IMU** (Unidad de medición inercial) a bordo. El módulo **Wi-Fi** es un **SoC** autónomo con una pila de protocolos **TCP / IP** integrada que puede proporcionar acceso a una red **Wi-Fi** o actuar como un punto de acceso. El **Arduino Uno WiFi** tiene **14 pines de entrada / salida digital**; **5** pueden usarse como salidas **PWM**; **6 entradas analógicas**, una conexión **USB**, un conector de alimentación, un encabezado **ICSP** y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador. Simplemente conéctelo a una **PC** con un cable **USB** o enciéndalo con un adaptador de **CA** o una batería para comenzar.



otras versiones de **Arduino UNO**:

ARDUINO UNO R3 SMD

El **Arduino Uno SMD R3** es un tablero para microcontroladores basado en el **ATmega328**. Tiene **14 pines de entrada / salida digital** (de los cuales **6** pueden usarse como salidas **PWM**), **6 entradas analógicas**, un oscilador de cristal de **16 MHz**, una conexión **USB**, un conector de alimentación, un encabezado **ICSP** y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable **USB** o enciéndalo con un adaptador de **CA a CC** o una batería para comenzar. El Uno difiere de todas las tarjetas anteriores en que no utiliza el chip de controlador **USB a serie FTDI**.

Las características adicionales que vienen con la **versión R3** son:

- **ATmega16U2** en lugar de **8U2** como convertidor de **USB a serie**.
- **Pinout 1.0**: se agregaron pines **SDA** y **SCL** para la comunicación **I2C** colocada cerca del pin **AREF** y otras dos pines colocadas cerca del pin **RESET**, el **IOREF** que permite que los protectores se adapten al voltaje provisto desde la placa y el segundo es Un pin no conectado, que está reservado para fines futuros.
- Circuito **RESET** más fuerte. "Uno" significa "One" en italiano y lleva el nombre para marcar el próximo lanzamiento de **Arduino 1.0**. El **Uno** y la **versión 1.0** serán las versiones de referencia de Arduino, avanzando. El **Uno** es lo último en una serie de placas **Arduino USB** y el modelo de referencia para la **plataforma Arduino**.

ARDUINO UNO R3 SMD

El **Arduino Uno SMD R3** es un tablero para microcontroladores basado en el **ATmega328**. Tiene **14 pines de entrada / salida digital** (de los cuales **6** pueden usarse como salidas **PWM**), **6 entradas analógicas**, un **oscilador de cristal de 16 MHz**, una **conexión USB**, un conector de alimentación, un **encabezado ICSP** y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable **USB** o enciéndalo con un adaptador de **CA a CC** o una batería para comenzar. El Uno difiere de todas las tarjetas anteriores en que no utiliza el chip de controlador **USB a serie FTDI**.

Las características adicionales que vienen con la **versión R3** son:

- **ATmega16U2** en lugar de **8U2** como convertidor de **USB a serie**.
- **Pinout 1.0**: se agregaron pines **SDA** y **SCL** para la comunicación **TWI** colocada cerca del pin **AREF** y otras dos pines colocadas cerca del pin **RESET**, el **IOREF** que permite que los protectores se adapten al voltaje provisto desde la placa y el segundo es Un pin no conectado, que está reservado para fines futuros.
- Circuito **RESET** más fuerte. "Uno" significa "One" en italiano y lleva el nombre para marcar el próximo lanzamiento de **Arduino 1.0**. El **Uno** y la **versión 1.0** serán las versiones de referencia de Arduino, avanzando. El **Uno** es lo último en una serie de placas **Arduino USB** y el modelo de referencia para la **plataforma Arduino**.

ARDUINO DUE:

Esta placa posee la mayor capacidad de procesamiento, basado en un microcontrolador de **32 bit** y arquitectura **ARM: Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU**. Este arduino está alimentado a **3.3Volt** y dado que gran parte de los **shields**, **sensores** y **actuadores** para Arduino y otros elementos compatibles se alimentan a **5Volt** limita el uso de este **Arduino**, pero cada vez se ven más elementos donde se puede elegir el voltaje entre **3.3** y **5Volt**.



Características Técnicas:

- Microcontrolador: AT91SAM3X8E.
- Voltaje de operación: 3.3V.
- Voltaje recomendado de entrada (pin Vin): 7-12V.
- Pines de entrada y salida digitales: 54 pines I/O, de los cuales 12 proveen salida PWM.
- Pines de entrada análogos: 12.
- Pines de salida análogos: 2

ARDUINO LEONARDO:

La principal diferencia de este arduino con el resto es que trae un único **MCU ATmega32u4** que tiene integrado la comunicación **USB**, lo que elimina la necesidad de un segundo procesador. Esto acarrea otras implicaciones en el compartimento del arduino al conectarlo al PC, lo que no lo hace apto para iniciarse con él.

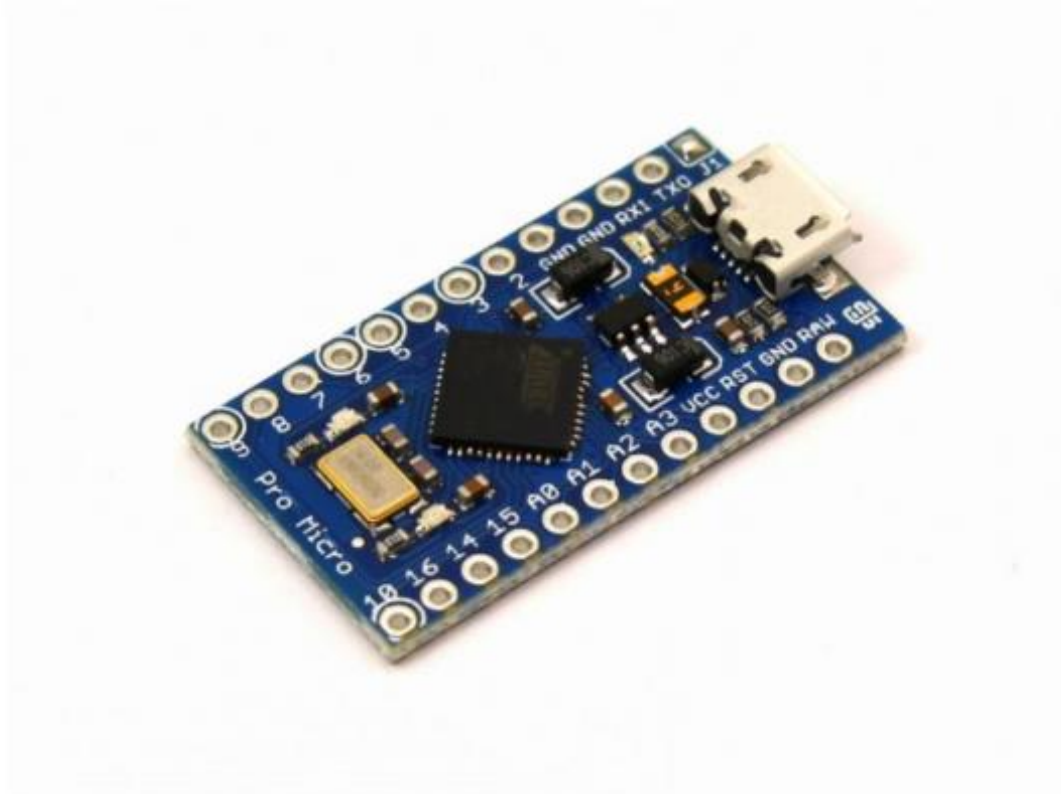


Especificaciones Técnicas:

- Microcontrolador: ATmega32u4
- Tensión de funcionamiento: 5V
- Alimentación recomendada: 7-12V
- Pines I/O Digitales: 20
- Canales PWM: 7
- Entradas analógicas: 12
- Corriente Maxima de los pines I/O: 40 mA
- Corriente Maxima de los pines 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB (4 KB usados para el bootloader)
- SRAM: 2.5 KB
- EEPROM interna: 1 KB
- Velocidad: 16 MHz

ARDUINO PRO MICRO:

El Pro **Micro** es similar al **arduino Mini Pro** excepto con un **ATMEGA32U4** a bordo. Esta pequeña tarjeta hace todas las funciones **Arduino** con las que se está familiarizado con: **4 canales de 10-bit ADC, 5 pines PWM, 12 DIO**, así como hardware conexiones serie **Rx y Tx**. Funcionando a **16 MHz y 5 Volt**.



Características técnicas

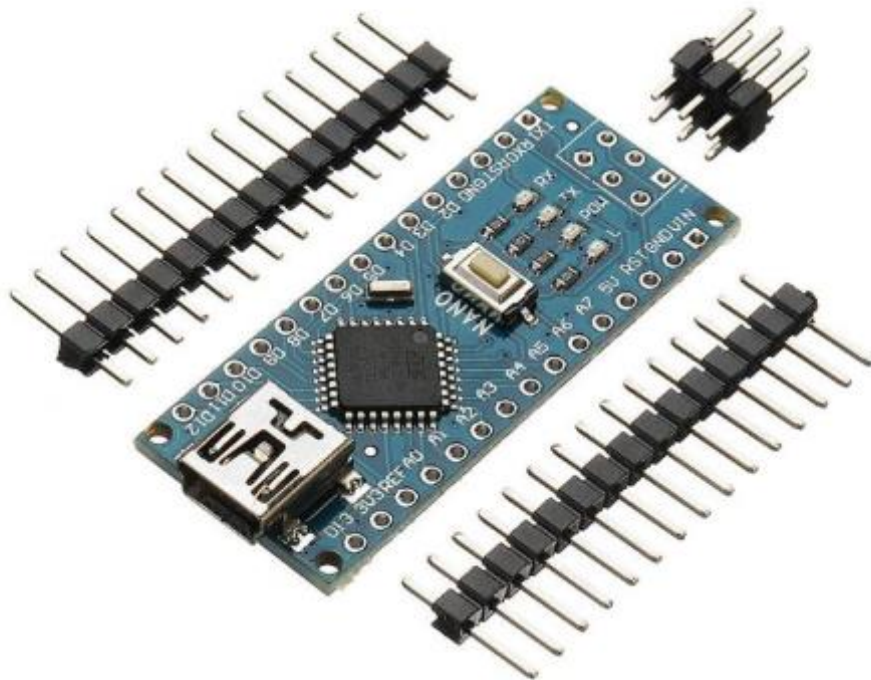
- 12 Pines digitales I/O (5 PWM)
- 4 Pines de entrada analógicos (10 bit c/u)
- Tensión de entrada 5-12V (Posee regulador interno)
- Tensión de salida: 5v.
- Corriente máxima de salida total 150mA.
- ATmega 32U4 funcionando a 5V/16MHz.
- Apoyado bajo Arduino IDE v1.0.1.
- Conector micro-USB para la programación.

ARDUINO NANO:

El **Arduino Nano** es una pequeña y completa placa basada en el **ATmega328** (Arduino Nano 3.0) o el **ATmega168** en sus versiones anteriores (Arduino Nano 2.x) que se usa conectándola a una protoboard. Tiene más o menos la misma funcionalidad que el **Arduino Duemilanove**, pero con una presentación diferente.

ARDUINO NANO:

El **Arduino Nano** es una pequeña y completa placa basada en el **ATmega328** (Arduino Nano 3.0) o el **ATmega168** en sus versiones anteriores (Arduino Nano 2.x) que se usa conectándola a una protoboard. Tiene más o menos la misma funcionalidad que el **Arduino Duemilanove**, pero con una presentación diferente.



Características Técnicas

- Microcontrolador: Atmel ATmega328 (ATmega168 versiones anteriores)
- Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V.
- Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V.
- Tensión de Entrada (límites): 6-20 V.
- Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)

ARDUINO YÚN:

El Arduino Yún posee 64MB de memoria RAM del tipo DDR2 y 16MB de memoria Flash. En la memoria flash viene instalada una distribución de Linux llamada OpenWrt-Yun, la cual ocupa 9 de los 16MB. Cuando se requiere más espacio para aplicaciones diversas se utiliza una memoria MicroSD.



Especificaciones Técnicas

- Microcontrolador ATmega32u4
- Voltaje Operativo 5V
- Voltaje de Entrada 5V
- Pines digitales de entrada/salida 20
- Canales PWM 7
- Canales de Entrada Analógica 12
- Corriente DC en pines 5V 40 mA
- Corriente DC en pin 3.3V 50 mA
- Memoria Flash 32 KB (4KB usados por bootloader)
- SRAM 2.5 KB
- EEPROM 1 KB
- Clock Speed 16 MHz
- Microprocesador Linux
- Procesador Atheros AR9331
- Arquitectura MIPS @400MHz
- Voltaje Operativo 3.3V
- Ethernet IEEE 802.3 10/100Mbit/s
- WiFi IEEE 802.11b/g/n
- USB Tipo-A 2.0 Host/Device
- Lector MicroSD Micro-SD only
- RAM 64 MB DDR2
- Memoria Flash 16 MB

ARDUINO ZERO:

Es una placa de 32bits basada en un microcontrolador ATMELE Cortex-M0 SAMD21 que además incorpora la tecnología EDBG (Atmel's Embedded Debugger) que permite realizar un debug de la aplicación sin necesidad de hardware externo.



Especificaciones Técnicas:

- Microprocesador ATSAM21 G18, 32-Bit ARM Cortex M0+
- Corriente máxima para los pines: 7 mA.
- Dimensiones : 80 x 55 mm.
- Peso: 23 gramos.
- Tensión Operativa : 3.3 V.
- Velocidad de la CPU: 48MHz.
- Memoria Flash 256 KB (El bootloader usa 8 KB)
- SRAM 32 KB; Sin EEPROM.

ARDUINO MKR WAN 1300

MKR WAN 1300 es una placa potente que combina la funcionalidad de la conectividad MKR Zero y LoRa. Es la solución ideal para los fabricantes que desean diseñar proyectos de IoT con una mínima experiencia previa en redes que tengan un dispositivo de baja potencia.



Especificaciones Técnicas:

- Clasificación Tarjeta de comunicación
- Nombre Arduino MKR WAN 1300 (conectividad Lora)
- Nombre de familia del procesador MCU ARM
- Referencia del procesador MKR1300
- Tipo de procesador Microcontrolador

Anexo 4: Datasheet Arduino Pro Mini.

Name: ADC

Power PWM

GND Serial


Control Ext Interrupt

Arduino PC Interrupt

Port Misc

Arduino Pro Mini (DEV-11113)

Programmed as Arduino Pro Mini w/ ATmega328
16MHz/ 5V



	PCINT17	TXD	PD1	D1	TX0		RAW	RAW												
	PCINT16	RXD	PD0	D0	RXI		GND	GND												
			PCINT14	PC6	Reset	RST		Reset	PC6	PCINT14										
						GND	GND													
			PCINT18	INT0	PD2	D2	2													
OC2B	PCINT19	INT1	8-bit	PD3	D3	3														
	XCK	TO	PCINT20	PD4	D4	4														
T1	OC0B	PCINT21	8-bit	PD5	D5	5														
AINO	OC0A	PCINT22	8-bit	PD6	D6	6														
		INI	PCINT23	PD7	D7	7														
CLKO	ICP1	PCINT0	PB0	D8	8															
OC1A	PCINT1	8-bit	PB1	D9	9															

A5	A5/D19	PC5	ADC5	SCL	PCINT13
A4	A4/D18	PC4	ADC4	SDA	PCINT12
A7	A7	ADC7			
A6	A6	ADC6			


Power
Raw: 5V-16V (6V-12V recommended)
VCC: 5V
Maximum current: 150mA @5V

ATmega328P
Absolute maximum VCC: 6V
Maximum current for chip: 200mA
Maximum current per pin: 40mA
Recommended current per pin: 20mA
8-bit Atmel AVR
Flash Program Memory: 32KB
EEPROM: 1kB
Internal SRAM 2kB
ADC: 10-bit
PWM: 8-bit

LEDs
Power: Red
User (D13): Green

sparkfun.com

User (D13): Green



Anexo 5: Programa en Arduino para controlar nuestro sistema de inmersión temporal automatizado.

```
#include <Servo.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <LcdBarGraph.h>

byte lcdNumCols = 16; //se definen la cantidad de columnas de la LCD
Servo myservo; //se declara nombre de servo
LiquidCrystal lcd(9, 8, 7, 6, 5, 4); //se definen los pines de la LCD que ira conectados al
arduino
LcdBarGraph lbg(&lcd, lcdNumCols); //se define function para lograr efectos visuals en
la LCD

int x=0; // se define x como numero entero con valor de 0
long int t=0; //se define como t como numero entero con valor de 0
long int tiempo=0; //se define como tiempo como numero entero con valor de 0
    int pos = 0;
    int z = 0;
long int segundos=0, minutos=0, horas=0;
int n,m=0;

void setup() { //se crea función que se ejecuta al inicio del programa
    Serial.begin(9600); //se inicia el puerto serial a 9600 values
    pinMode(A3,INPUT); //se define el puerto analogico 3 como entrada digital
    pinMode(A2,INPUT);
    pinMode(A1,INPUT);
    pinMode(A0,INPUT);
    pinMode(13,INPUT);
    digitalWrite(A3,HIGH); //se configura el puerto analogico 3 como pull up
    digitalWrite(A2,HIGH);
    digitalWrite(A1,HIGH);
    digitalWrite(A0,HIGH);
    digitalWrite(13,HIGH);
```

```

    lcd.begin(2, lcdNumCols); //se define la LCD como 2x16
myservo.attach(3); //se configura el pin 3 como señal de servomotor
lcd.setCursor(4,0); //se ubica la LCD en la columna 5 fila 1
lcd.print("*ALPHA*"); //se imprime en la LCD: ALPHA
lcd.setCursor(2, 1);
delay(150); //se define un delay de 150 ms
lcd.print("==C&P S.A.==");
delay(2000);
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(" =C&P S.A.= ");
delay(750);
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(" C&P S.A. ");
delay(750);
lcd.clear(); //limpia la pantalla
delay(500);
lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print("C&P S.A.");
delay(500);
lcd.clear();
delay(500);
lcd.setCursor(4, 1);
lcd.print("C&P S.A.");
delay(1500);
lcd.clear();
    while(z<100){ //se dibujan las barras
        for(z=0;z<=110;z++){
            lbg.drawValue(z, 100);
            delay(25);
        }
    }
    lcd.clear();
}

```

```

void reset(){ // se define la function reset
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("!!!RESETEADO!!!");
    delay(1000);
    x=0;}

```

```

void sec_fin(){
    delay(200);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" Terminado ");
    delay(1000);}

```

```

void crono(){
    if(digitalRead(3)==LOW){reset();}
    tiempo=millis()-t;
    segundos=(tiempo/1000);
    minutos=segundos/60;
    horas=minutos/60;
    Serial.println(segundos);
        Serial.println(minutos);
            Serial.println(horas);
                Serial.println(" ");
    }

```

```

void servo1(){
    for (pos = 90; pos >= 0; pos -= 1) {
        myservo.write(pos);
        delay(25);}

    for(z=0;z<=720;z++){
        delay(6000);}

    for (pos = 0; pos <= 90; pos += 1) {
        myservo.write(pos);

```

```

    delay(25);}
}

}

void servo2(){
    for (pos = 90; pos >= 0; pos -= 1) {
        myservo.write(pos);
        delay(25);}

    for(z=0;z<=480;z++){
        delay(6000);}

    for (pos = 0; pos <= 90; pos += 1) {
        myservo.write(pos);
        delay(25);}
}

}

void servo3(){
    for (pos = 90; pos >= 0; pos -= 1) { //en 2 segundos recorre 90 grados
        myservo.write(pos);
        delay(25);}

    for(z=0;z<=300;z++){
        delay(6000);}

    for (pos = 0; pos <= 90; pos += 1) { //En 2 segundos recorre de 0 a 90 grados
        myservo.write(pos); //se envía instrucciones pos al servo
        delay(25);}
}

}

void servo4(){
    for (pos = 90; pos >= 0; pos -= 1) { //en 2 segundos recorre 90 grados

```

```

myservo.write(pos);
delay(25);}

for(z=0;z<=240;z++){
delay(6000);}

for (pos = 0; pos <= 90; pos += 1) { //En 2 segundos recorre de 0 a 90 grados
myservo.write(pos); //se envía instrucciones pos al servo
delay(25);}
}

void loop() {

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("*2      3*");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("*4      5*");

  //////////////////////////////////////
  //////////////////////////////////---- 2 ----////////////////////////////////////
  //////////////////////////////////////

  if(digitalRead(9)==LOW){          //si está presionado el pulser del pin 9
    delay(200);                      //
    while(digitalRead(9)==LOW){}    //instrucción para que solo se active una vez si se
mantiene presionado
    lcd.clear();                      //
    lcd.setCursor(0, 0);              //
    lcd.print("*OK  REGRESAR*"); //
    x=1;}                              //
  ////////////////////////////////////// //
  while(x==1){                        //
    if(digitalRead(9)==LOW){        //
      lcd.clear();                  //
      n=2;                          //

```



```

t=millis();          //
while(x==1){        //
  //
  lcd.setCursor(5, 1); //
  lcd.print("(");    //
  lcd.setCursor(7, 1); //
  lcd.print("/2");   //
  crono();
  lcd.setCursor(6, 1);
  lcd.print(m);//
  if(segundos==1){
    m++;
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(m);
    servo1();}      //
  if(horas==12){
    m++;
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(m);
    servo1();}      //
  if(m>=n){         //
    sec_fin();      //
    x=0;
    m=0;}}          //
if(digitalRead(8)==LOW){ //
  lcd.clear();      //
  delay(200);       //
  x=0;}}            //
////////////////////

////////////////////
////////////////////--- 3 ---////////////////////
////////////////////

if(digitalRead(8)==LOW){ //

```

```

delay(200);          //
while(digitalRead(8)==LOW){} //
lcd.clear();        //
lcd.setCursor(0, 0); //
lcd.print("*OK  REGRESAR*"); //
x=1;}              //
////////////////////// //
while(x==1){       //
  if(digitalRead(9)==LOW){ //
    lcd.clear();      //
    n=3;              //
    t=millis();       //
    while(x==1){     //
      lcd.setCursor(5, 1); //
      lcd.print("("); //
      lcd.setCursor(7, 1); //
      lcd.print("/3"); //
      crono();        //
      if(segundos==1){
        m++;
        lcd.setCursor(6, 1);
        lcd.print(m);
        servo2();} //
      if(horas==8){
        m++;
        lcd.setCursor(6, 1);
        lcd.print(m);
        servo2();} //
      if(horas==16){
        m++;
        lcd.setCursor(6, 1);
        lcd.print(m);
        servo2();} //
      if(m>=n){      //

```

```

        sec_fin();          //
        x=0;
        m=0;}}}}          //
if(digitalRead(8)==LOW){ //
    lcd.clear();          //
    delay(200);           //
    x=0;}}                //
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////
////////////////////////////////---- 4 ----////////////////////////////////
////////////////////////////////////

if(digitalRead(7)==LOW){ //
    delay(200);           //
    while(digitalRead(7)==LOW){} //
    lcd.clear();          //
    lcd.setCursor(0, 0);  //
    lcd.print("*OK  REGRESAR*"); //
    x=1;}                 //
//////////////////////////////////// //

while(x==1){             //
    if(digitalRead(9)==LOW){ //
        lcd.clear();      //
        n=4;              //
        t=millis();       //
        while(x==1){     //
            lcd.setCursor(5, 1); //
            lcd.print("("); //
            lcd.setCursor(7, 1); //
            lcd.print("/4"); //
            crono();      //
            if(segundos==1){
                m++;
                lcd.setCursor(6, 1);

```

```

    lcd.print(m);
    servo3();}          //
    if(horas==6){
    m++;
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(m);
    servo3();}          //
    if(horas==12){
    m++;
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(m);
    servo3();}          //
    if(horas==18){
    m++;
    lcd.setCursor(6, 1);
    lcd.print(m);
    servo3();}          //
    if(m>=n){           //
    sec_fin();          //
    x=0;
    m=0;}}             //
    if(digitalRead(8)==LOW){ //
    lcd.clear();        //
    delay(200);         //
    x=0;}}             //
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////

////////////////////////////////////--- 5 ---////////////////////////////////////
////////////////////////////////////

    if(digitalRead(6)==LOW){ //
    delay(200);          //
    while(digitalRead(6)==LOW){} //
    lcd.clear();        //

```

```

lcd.setCursor(0, 0);      //
lcd.print("*OK  REGRESAR*"); //
x=1;}                    //
////////////////////// //
while(x==1){            //
  if(digitalRead(9)==LOW){ //
    lcd.clear();        //
    n=5;                //
    t=millis();         //
    while(x==1){       //
      lcd.setCursor(5, 1); //
      lcd.print("(");    //
      lcd.setCursor(7, 1); //
      lcd.print("/5)");  //
      crono();          //
      if(segundos==1){
        m++;
        lcd.setCursor(6, 1);
        lcd.print(m);
        servo4();}      //
      if(horas==5){
        m++;
        lcd.setCursor(6, 1);
        lcd.print(m);
        servo4();}      //
      if(horas==10){
        m++;
        lcd.setCursor(6, 1);
        lcd.print(m);
        servo4();}      //
      if(horas==15){
        m++;
        lcd.setCursor(6, 1);
        lcd.print(m);

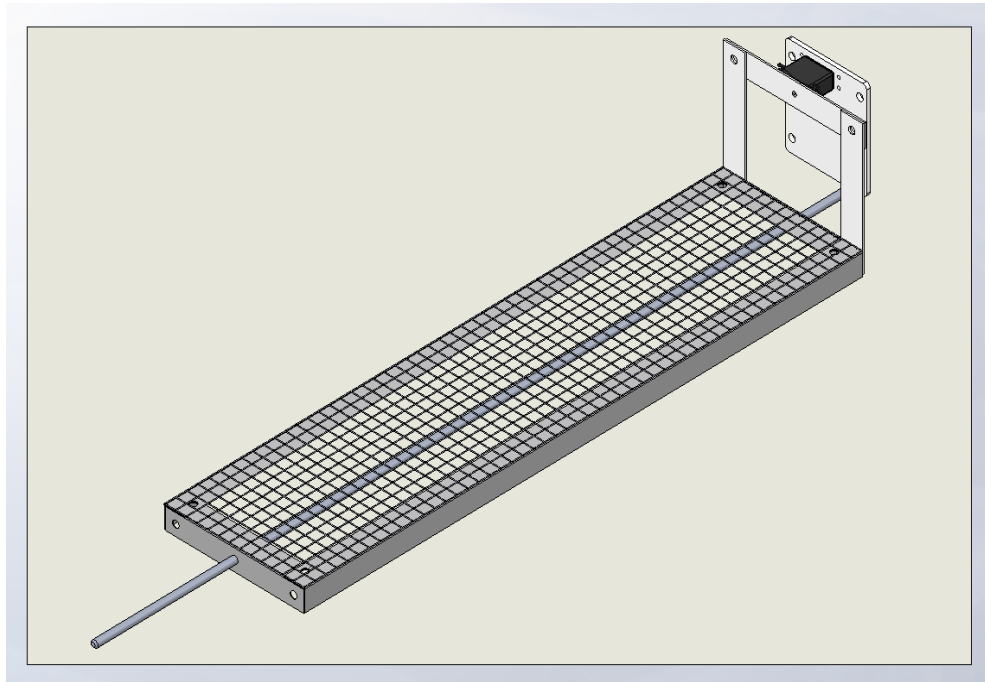
```

```

servo4();}          //
if(horas==20){
m++;
lcd.setCursor(6, 1);
lcd.print(m);
servo4();}          //
if(m>=n){           //
  sec_fin();        //
  x=0;
  m=0;}}           //
if(digitalRead(8)==LOW){ //
  lcd.clear();      //
  delay(200);       //
  x=0;}}           //
////////////////////
}

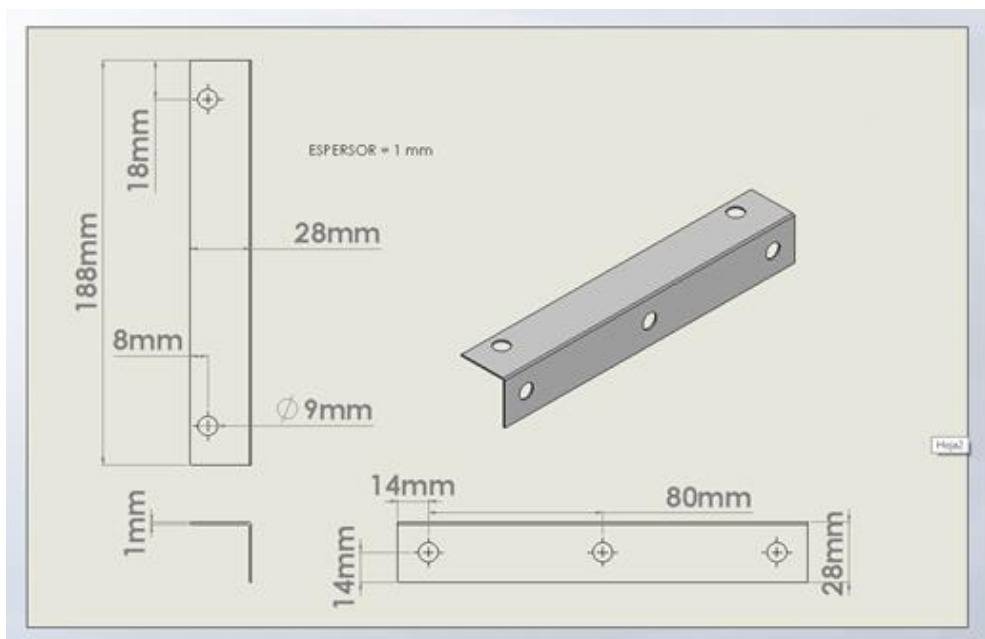
```

Anexo 6: Planos mecánicos para implementar el sistema.

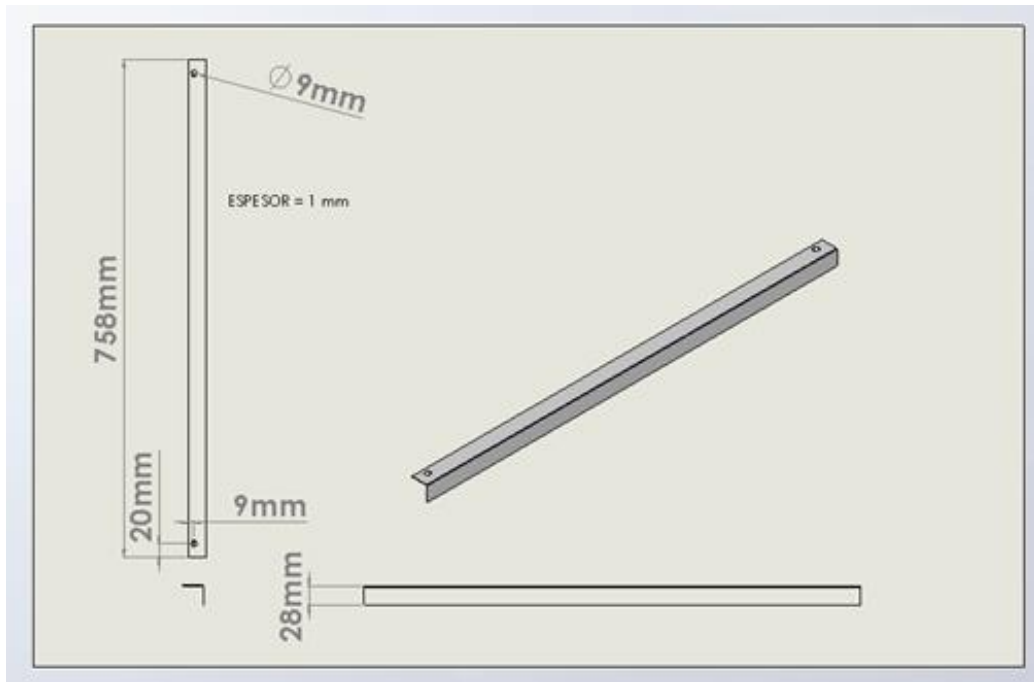


PLANOS PARA REJILLA

ANGULO MENOR PARA REJILLA (X2)

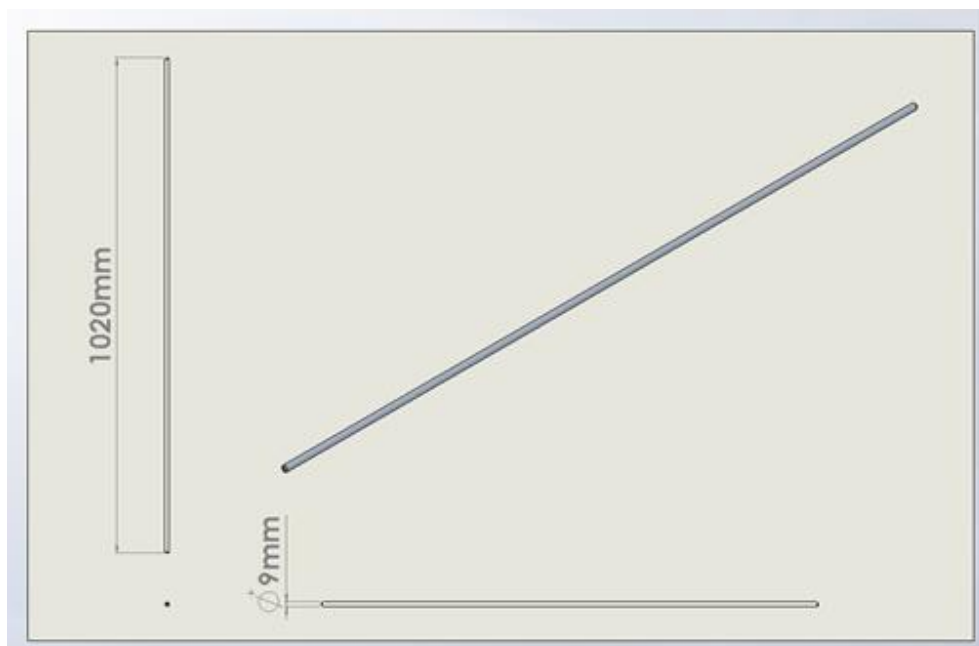


ANGULO MAYOR PARA REJILLA (X2)

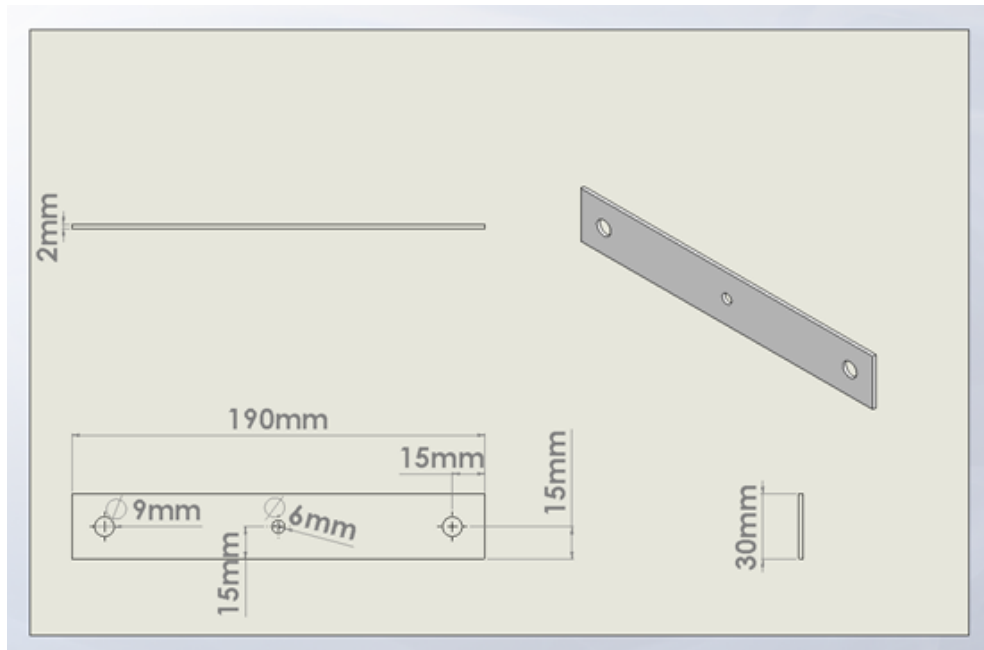


PLANOS PARA MECANISMO DE SERVOMOTOR

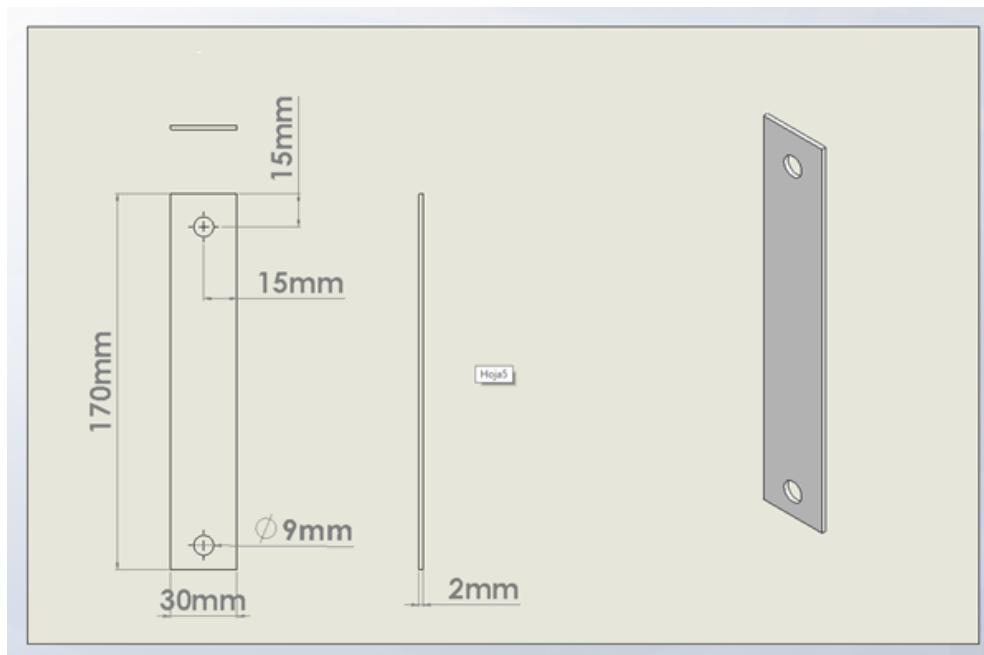
EJE DE ROTACION (X1)



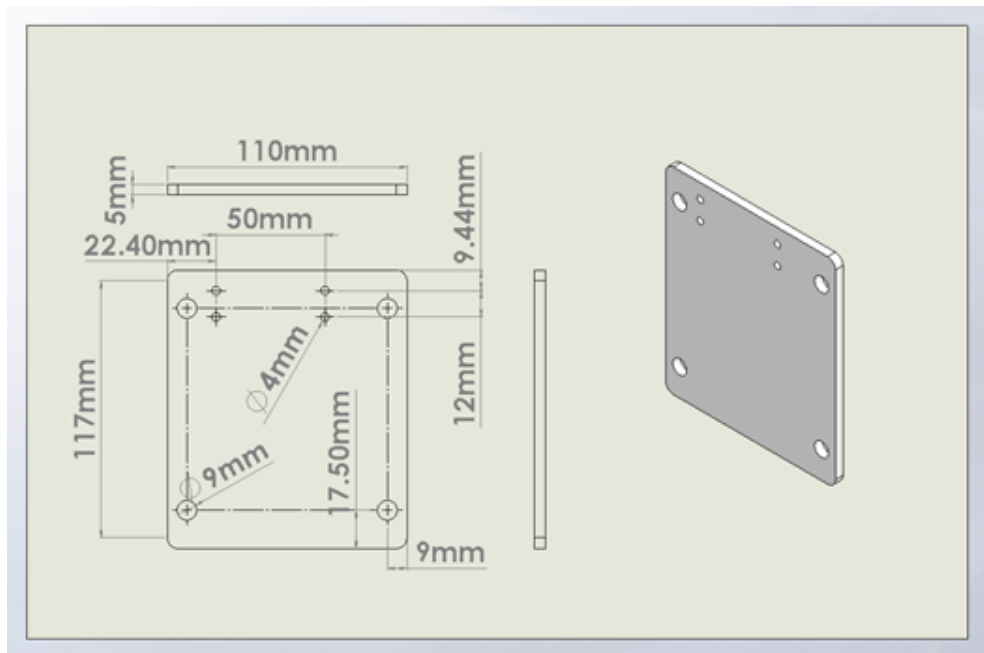
PLATINA HORIZONTAL DEL MECANISMO PARA EL SERVOMOTOR (X1)



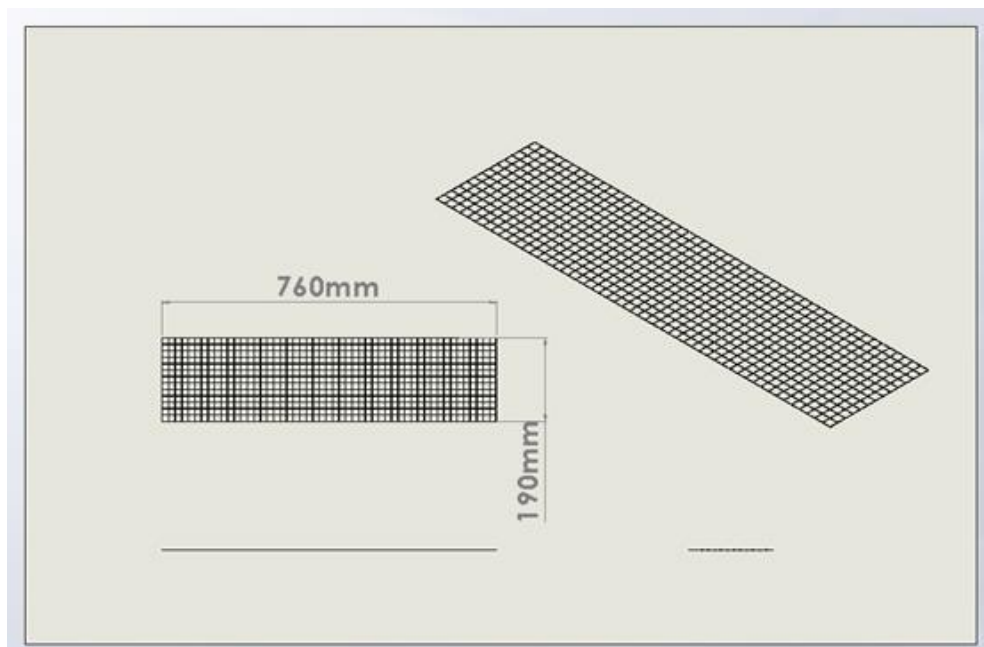
BRAZO VERTICAL PARA MECANISMO DE SERVOMOTOR (X2)



BASE PARA SERVOMOTOR (X1)



MALLA DE GALLINERO (X1)



VISTA EXPLOSIONADA DE REJILLA

