

UNIVERSIDAD DE CIEGO DE ÁVILA “MÁXIMO GÓMEZ BÁEZ”

REPÚBLICA DE CUBA

FACULTAD DE INGENIERIAS



**DISEÑO DE CONTROL DE POSICIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN
UN SISTEMA DE INMERSIÓN TEMPORAL EN CENTRO DE BIOPLANTAS.**

TESINA PARA DIPLOMADO EN EFICIENCIA ENERGETICA

AUTORA: SHEYLA BRIGITTE IBARRA MOGOLLON

CIEGO DE ÁVILA, 2016

REPÚBLICA DE CUBA

UNIVERSIDAD DE CIEGO DE ÁVILA “MÁXIMO GÓMEZ BÁEZ”

FACULTAD DE INGENIERIAS



**DISEÑO DE CONTROL DE POSICIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN
UN SISTEMA DE INMERSIÓN TEMPORAL EN CENTRO DE BIOPLANTAS.**

TESINA PARA DIPLOMADO EN EFICIENCIA ENERGETICA

AUTORA: SHEYLA BRIGITTE IBARRA MOGOLLON

TUTORES:

**Ing. MSc. PhD Aldo Pardo Garcia
Ing. MSc. PhD Cosme Santiesteban Toca**

CIEGO DE ÁVILA, 2016



Hacemos constar que la presente tesina fue realizada en la Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez” como parte del curso corto de eficiencia energética de la facultad de ingenierías, autorizamos a que la misma sea utilizada por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Autor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	4
INTRODUCCION.....	9
1 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES.....	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GENERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 CAPITULO 1. ANTECEDENTES HISTORICOS.....	17
3.1 Biorreactores.....	17
3.1.1 Descripción del sistema de inmersión temporal (SIT)	18
3.1.2 Tipos de sistemas de inmersión temporal	19
3.1.3 Ventajas	20
3.1.4 Biorreactor de inmersión temporal (BIT)	21
3.1.5 Sistema de Automatización	24
3.2 Eficiencia energética	27
3.3 Eficiencia energética en un biorreactor de inmersión temporal	28
3.3.1 Iluminación.....	29
3.3.1.1 Matemáticamente, Equivalencia de Lumen a Lux	29
3.3.2 Temperatura.....	32
3.3.3 Compresor.....	33
3.4 Incidencia de la iluminación y la temperatura en el BIT	36
4 CAPITULO 2. MATERIALES	39
4.1 Materiales	40
4.1.1 Sensores y hardware empleados.....	40
4.1.1.1 Sensor ultrasónico HC-SR04.....	40
4.1.1.1.1 Características y principio de funcionamiento.....	41
4.1.1.1.2 Matemáticamente.....	43
4.1.1.2 Sensor infrarrojo MLX90614.....	44
4.1.1.2.1 Características y principio de funcionamiento.....	46
4.1.1.2.2 Matemáticamente.....	47
4.1.1.3 Placa de desarrollo Arduino Uno	48
4.1.1.3.1 Características.....	49

5	CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	50
	5.1 Objetivo específico #1 diseñar un sistema de control de posición para el BIT	50
	Diseño de sistema de control para un BIT	50
	5.2 Objetivo específico #2 Realizar la implementación en un sistema de medición de Iluminación vs. Longitud.....	52
	Objetivo específico #3 Determinar la posición óptima para un BIT (PIÑA MD2 – 2440 Lux).....	52
	5.2.1 Descripción del sistema de monitoreo.....	53
	5.2.2 Diseño de la experimentación.....	54
	5.2.3 Casos de pruebas	56
	5.2.3.1 Caso de prueba I medición de distancia de los frascos con respecto a la iluminación	59
	5.2.3.1.1 Medición para lámparas fluorescente.....	59
	5.2.3.1.2 Medición para lámparas tipo led.....	65
	5.2.3.1.3 Comparación de medición de iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Distancia.....	67
	5.2.3.2 Caso de prueba II medición de la distancia optima de los frascos con respecto a la Temperatura emitida por las distintas lámparas.	68
	5.2.3.3 Caso de prueba III medición de Iluminación de los frascos con respecto al número de lámparas.....	69
	5.2.3.3.1 Medición de iluminación en los frascos vs. Numero de lámparas tipo fluorescente.....	70
	5.2.3.3.2 Medición de iluminación en los frascos vs. Numero de lámparas tipo led	73
	5.2.3.3.3 Comparación de medición de iluminación de los frascos vs. Numero de lámparas tipo fluorescente y tipo led.	75
	5.2.3.4 Caso de prueba IV medición de Iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. distancia	76
	5.3 Objetivo específico #4 Comparar el consumo energético en la iluminación en lámparas fluorescentes y lámparas led.....	78
	5.3.1 Caso de prueba V medición de consumo energético en el estante con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Cantidad de lámparas ..	82
	5.3.2 Caso de prueba VI consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo fluorescentes	83
	5.3.3 Caso de prueba VII consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo led	85
6	CONCLUSIONES.....	87

7 ANEXOS	88
7.1 Anexo 1	88
7.2 Anexo 2	90
7.3 Anexo 3	91
BIBLIOGRAFIA	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de Inmersión Temporal (SIT)	18
Figura 2 Recipiente para Inmersión temporal automatizada (RITA)	20
Figura 3 Diseño gráfico del Biorreactor de Inmersión temporal (BIT) desarrollado en el Centro de Bioplantas de la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba, por Maritza Escalona y otros	22
Figura 4 Configuración del SmartBIT v1.0	23
Figura 5 Variables de la Iluminación	30
Figura 6 Magnitudes de iluminación	32
Figura 7 Tiempos de los biorreactores de inmersión temporal	34
Figura 8 Diagrama de tiempo estado ideal BIT	34
Figura 9 Diagrama de estados, caso 2 BIT	35
Figura 10 Longitud de onda, luz solar	38
Figura 11 Comportamiento de las plantas a la iluminancia	39
Figura 12 Sensor ultrasónico HC-SR04	41
Figura 13 Inicio de lectura	42
Figura 14 Principio de funcionamiento	43
Figura 15 Apariencia física del Sensor infrarrojo MLX90614	45
Figura 16 Apariencia del Sensor infrarrojo MLX90614	46
Figura 17 Esquemático Sensor infrarrojo MLX90614	47
Figura 18 Placa de desarrollo Arduino Uno	49
Figura 19 Control de posición para un BIT	51
Figura 20 Diseño de control de posición BIT	51
Figura 21 Esquema funcional del PLC, BIT	52
Figura 22 Conexiones a la tarjeta Arduino	55
Figura 23 Conexión de los sensores a la tarjeta Arduino	55
Figura 24 Tablero Central de Control (TCC)	56
Figura 25 Estante de los depósitos de explantes	57
Figura 26 Distribución de una sección de nivel BIT	58
Figura 27 Distribución de lámparas y distancias de medición	60
Figura 28 Nivel de iluminancia VS. Distancia foco	63
Figura 29 Distancia idónea para el BIT	65
Figura 30 Distancia vs. lámparas led	65
Figura 31 Nivel de iluminación vs. distancia del foco led	66
Figura 32 Comparación de medición de iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Distancia	67
Figura 33 Temperatura vs. Lámparas	69

Figura 34 Nivel de luminancia Vs. Numero de lámparas	70
Figura 35 Nivel de iluminancia Vs. Numero de lámparas lámpara fluorescente	73
Figura 36 Nivel de iluminancia Vs. Numero de lámparas lámpara led	74
Figura 37 Comparación de luminancia vs. N. lámparas vs. Tipo de lámparas	75
Figura 38 Lux vs. Lámparas vs. Distancia	78
Figura 27 Perdidas en una hora lámpara fluorescente	80
Figura 28 Perdidas en una hora lámpara led	81
Figura 29 Comparación de pérdidas en una hora lámpara fluorescente y lámpara led	82
Figura 39 Consumo E. vs. Lámparas vs. N. Lámparas	83
Figura 40 Caso de prueba consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo fluorescente	84
Figura 41 Caso de prueba consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo led	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cronograma y descripción de actividades	12
Tabla 2 Cursos cortos pregrado	13
Tabla 3 Comparación entre Master K-120S y erosPLC	27
Tabla 4 Data Nivel de iluminancia Vs. Distancia foco	62
Tabla 5 Promedio nivel de iluminancia y desviación a diferentes distancias	63
Tabla 6 Distancia vs. lámparas led	66
Tabla 7 Comparación de medición de iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Distancia	68
Tabla 8 Temperatura vs. Lámparas	69
Tabla 9 Nivel de Iluminancia Vs. Nivel de lámparas	72
Tabla 10 Nivel de iluminancia Vs. Numero de lámparas lámpara led	74
Tabla 11 Comparación de luminancia vs. N. lámparas vs. Tipo de lámparas	76
Tabla 12 Lux vs. Lámparas vs. Distancia	77
Tabla 4 Perdidas por hora y en año lámpara fluorescente	79
Tabla 5 Perdidas en una hora lámpara led	80
Tabla 6 Comparación de pérdidas en una hora lámpara fluorescente y lámpara led	81
Tabla 13 Consumo E. vs. Lámparas vs. N. Lámparas	83
Tabla 14 Caso de prueba consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo fluorescente	85
Tabla 15 Caso de prueba consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo led	86

RESUMEN

El diseño para el ahorro de energía en el proceso de inmersión temporal tiene como propósito la presente Tesina, diseño realizado en el centro de Bioplantas en la Universidad Ciego de Ávila, ubicada en Cuba; objetivo fundamental eficiencia energética en dicho proceso.

Para cumplir con los objetivos propuestos se implementó un sistema de medición de iluminación vs. posición o longitud, utilizando una tarjeta Arduino, sensor ultrasónico y sensor de iluminación, donde se determina las posiciones óptimas para los BIT con PIÑA MD2 (2440 lux).

Se compara el consumo energético de la iluminación con lámparas y con led utilizando el sistema de medición implementado.

INTRODUCCION

En el proceso de inmersión temporal siempre se realiza mediante inspección visual del técnico que trabaja en las cámaras de multiplicación, pero el mayor inconveniente es a gran escala, ya que no se ha podido resolver el problema con la rapidez que se amerita; por esta razón con la ayuda de la automatización del proceso de inmersión temporal se podría disminuir notablemente las pérdidas en materia prima, en gasto energético, en el tiempo, entre otras.

Al pasar de los años el cambio climático ha venido afectando nuestro planeta de una manera abrumadora; afectando nuestra manera de vivir, especialmente nuestros campos y la producción de alimentos, la cual se está viendo afectada por las olas de calor y de invierno que nos atacan todos los años en diferentes épocas. Matando los cultivos y animales, los cuales son indispensables para nuestra supervivencia, aquí es donde entra la tecnología y los diferentes métodos de cultivos para solucionar en parte los daños por sequía e invierno que destruyen nuestro recurso de sostenimiento alimenticio.

Tenemos el proceso de Biorreactor de inmersión temporal (BIT). El Biorreactor es el núcleo de los procesos biotecnológicos. El análisis y diseño de cómo funciona un Biorreactor dependen del previo estudio de las reacciones biológicas y del equilibrio de materia y energía. Los cultivos de las células vegetales in vitro brindan la posibilidad de realizar biotransformaciones en reactores, o en una planta industrial, sin depender de amplias plantaciones, características de los suelos, situaciones climatológicas, lo anterior permite incrementar la productividad de metabolitos por unidad de biomasa en biorreactores, con respecto a los cultivos en plantaciones, reduciendo la presión sobre los suelos que están destinados a la alimentación humana y animal. De esta manera, la manipulación de las células vegetales en reactores es atractiva y se convierte en una excelente opción para la investigación y desarrollo.

El proceso de los biorreactores de inmersión temporal es muy abarcador y un tanto complejo, donde uno de los factores energéticos que presenta es que en el medio de cultivo lleva una gran carga de gasto de energía en su elaboración, esterilización e inoculación. Otro de los factores que influye y es el mayor peso energético, lo constituye la iluminación de los frascos de cultivo en los estantes donde se desarrolla el proceso de Inmersión Temporal.

La contaminación de los frascos es el principal factor que hace que se tenga que destruir todo el material vegetal y del medio de cultivo, perdiéndose tiempo, material vegetal y medio de cultivo, pero también el gasto energético; es por eso que monitorear que el proceso de llenado y vaciado de medio de cultivo en el desarrollo de las vitroplantas es vital, no solo para su desarrollo, sino también para el ahorro de portadores energéticos.

1 DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

Descripción de actividades: (Lista de tareas)

1. Estado del arte sobre sistemas de inmersión temporal.
2. Estudio de técnicas de control para la automatización del proceso de inmersión temporal.
3. Diseño del sistema de medición usando la tarjeta Arduino y con los sensores de longitud e iluminación.
4. Programación del sistema Arduino con enlace a Phyton.
5. Recolección de información del sistema de inmersión temporal en el centro de Bioplantas.
Evolución de las variables que se utilizan en el proceso.
6. Cuantificación del ahorro de energía mediante la automatización del proceso de inmersión temporal.
7. Análisis de los datos utilizando Excel iluminación vs. Longitud.
8. Comparación del consumo de energía consumida en el proceso sin el monitoreo automatizado y con el monitoreo automatizado en el centro de Bioplantas.
9. Corroboración y evolución el funcionamiento del sistema de control.

10. Escritura de la tesina.

Los objetivos se realizara en un plazo de 70 días (9 semanas), el pregrado para estudiantes de Ingeniería se efectuara en el sistema de cursos cortos, enfocado al desarrollo de habilidades y competencias en el uso racional y eficiente de la energía, donde a partir de la experiencia se debe dirigirse a la profundización en el estudio de los de los fenómenos térmicos, fluidos, energía eléctrica, gestión y control automático, donde más carencias hay en la formación general de los ingenieros y a su vez le sirven como cursos propedéuticos para la Maestría en Eficiencia Energética. Tabla 2 Cursos cortos pregrado

Cronograma y descripción de Actividades

SEMANAS									
ACTIVIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X						
3			X						
4			X	X	X				
5					X				
6					X	X			
7						X	X		
8							X	X	
9				X	X	X	X	X	X

Tabla 1 Cronograma y descripción de actividades

CURSO	HORAS LECTIVAS	HORAS TOTALES	CRÉDITOS
TERMODINÁMICA	10 Hrs	50 Hrs	1
TRANSFERENCIA DE CALOR	10 Hrs	50 Hrs	1
INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	10 Hrs	50 Hrs	1
LABORATORIOS DE MEDICIONES DE MAGNITUDES FÍSICAS	10 Hrs	50 Hrs	1
MECÁNICA DE LOS FLUIDOS	10 Hrs	50 Hrs	1
GESTIÓN ENERGÉTICA	10 Hrs	50 Hrs	1
TESINA	-	100 Hrs	2
TOTAL	60 Hrs	400 Hrs	8

Tabla 2 Cursos cortos pregrado

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

DISEÑAR UN CONTROL DE POSICION PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN UN SISTEMA DE INMERSIÓN TEMPORAL EN CENTRO DE BIOPLANTAS

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Diseñar un sistema de control de posición para el BIT
- ✓ Realizar la implementación en un sistema de medición de iluminación vs. Longitud.
- ✓ Determinar la posición óptima para un BIT. (PIÑA MD2 – 2440 lux)
- ✓ Comparar el consumo energético en la iluminación en lámparas fluorescentes y lámparas led.
- ✓ Validar el funcionamiento del sistema de medición.

Problema científico:

¿Pérdida Energética en el Proceso de Inmersión Temporal, en el Centro de Bioplantas de la Universidad Ciego de Ávila, Cuba?

Campo de acción de la investigación

Dispositivo de control para el sistema de monitoreo en los SIT.

Hipótesis

Desarrollar un sistema de medición basado en la utilización de sensores de temperatura y luz, con el fin de reducir las pérdidas energéticas en el proceso de inmersión temporal, en El Centro De Bioplantas De La Universidad Ciego De Ávila, Cuba.

Variable Independiente

Sistema De medición Para El Proceso De Inmersión Temporal en El Centro De Bioplantas De La universidad ciego de Ávila, Cuba.

Variable dependiente

Las pérdidas energéticas en el proceso de inmersión temporal en El Centro De Bioplantas De La Universidad Ciego De Ávila Cuba.

Tipo de investigación

La investigación que se realiza es aplicada, de campo, experimental.

Para cumplir con las tareas planteadas se utilizan los siguientes métodos de investigación:

Métodos teóricos

1. Método histórico-lógico para determinar los antecedentes históricos de la evolución del proceso de inmersión temporal.

2. El método analítico-sintético para la caracterización y estudio de las herramientas existentes para la supervisión, y adquisición de datos y del proceso de inmersión temporal en la producción de vitroplantas.
3. El método inductivo-deductivo para la conceptualización y deducción del proceso de elaboración del documento.
4. Método sistémico-estructural-funcional para la confección de la herramienta informática para el control, la supervisión y la adquisición de datos.

La técnica usada es la documentación para determinar un criterio acerca del sistema de control y monitoreo. Se realiza bajo una orientación definida, para la obtención de un resultado esperado y estará ligada a la etapa empírica de la investigación.

Población o muestra

Se toma como población para aplicar los métodos antes mencionados a 216 Sistemas de Inmersión Temporal ubicados en diez estantes para su colocación y como muestra 50 Sistemas de Inmersión Temporal ubicados en un estante para su colocación, para un cultivo de PIÑA MD2.

Aporte práctico

El trabajo propuesto tiene un aporte práctico debido a que los resultados de la investigación se ven reflejados en un sistema que contribuye al sistema de medición del proceso en los BIT, en el laboratorio de células del centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila. Toda la información se muestra a través de interfaces que facilitan el acceso a los procesos, con esto se logra recolectar la información referente al proceso, para posteriormente ser analizada y valorada por los especialistas en el tema y así tomar las acciones necesarias y oportunas para la optimización del sistema.

3 CAPITULO 1. ANTECEDENTES HISTORICOS

En este capítulo se describen los biorreactores de inmersión temporal, su funcionamiento, evolución de los mismos, así como, los tipos de sistemas de inmersión temporal que existen, se habla sobre eficiencia energética, la eficiencia energética en los biorreactores; además se detallan las características de las herramientas para la realización del software, analizando la incidencia de la iluminación y la temperatura en un biorreactor.

3.1 Biorreactores

Un biorreactor es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos. Este proceso puede ser aeróbico o anaerobio. Estos biorreactores son comúnmente cilíndricos, variando en tamaño desde algunos mililitros hasta metros cúbicos y son usualmente fabricados en acero inoxidable.

Un biorreactor puede ser también un dispositivo o sistema empleado para hacer crecer células o tejidos en operaciones de cultivo. Estos dispositivos se encuentran en desarrollo para su uso en ingeniería de tejidos. En términos generales, un biorreactor busca mantener ciertas condiciones ambientales propicias (pH, temperatura, concentración de oxígeno, etcétera) al organismo o sustancia química que se cultiva. El diseño de los biorreactores es una tarea de ingeniería relativamente compleja y difícil. Los microorganismos o células son capaces de realizar su función deseada con gran eficiencia bajo condiciones óptimas. Las condiciones ambientales de un biorreactor tales como flujo de gases (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.), temperatura, pH, oxígeno disuelto y velocidad de agitación o circulación, deben ser cuidadosamente monitoreadas y controladas.

La mayoría de los fabricantes de biorreactores usan recipientes, sensores, controladores y un sistema de control interconectados para su funcionamiento en el sistema de biorreacción. Se requiere de un intercambiador de calor para mantener el bioproceso a temperatura constante. La fermentación biológica es una fuente importante de calor, por lo que, en la mayor parte de los casos, los biorreactores requieren de agua de enfriamiento. Pueden ser refrigerados con una chaqueta externa o, para recipientes sumamente grandes, con serpentines internos.

3.1.1 Descripción del sistema de inmersión temporal (SIT)

Se utilizan explante procedentes de micropropagación convencional de un clon de determinada plantación.

En el sistema de inmersión temporal se utilizan frascos de aproximadamente 1 Litro de capacidad, los cuales se interconectan por parejas mediante mangueras de silicona. En un frasco se coloca el medio de cultivo líquido y en el otro los brotes. Se debe aclarar que en todos los casos el volumen de medio de cultivo es constante durante cada fase y las pérdidas por evaporación son mínimas debido a que es un sistema cerrado. Cada frasco se conecta a un sistema de entrada de aire proveniente de un compresor, el cual se acciona manualmente para el control de la frecuencia, la duración de las inmersiones, la luminosidad y el flujo de gases. El aire entrante o saliente se esterilizó a través de filtros hidrófobos de 0,2 μ m, de tal manera que cada recipiente se manipula independientemente sin riesgos de contaminación. [8] Ver. Figura 1 Sistema de Inmersión Temporal (SIT)



Figura 1 Sistema de Inmersión Temporal (SIT)

3.1.2 Tipos de sistemas de inmersión temporal

Los sistemas de inmersión temporal se pueden agrupar en cuatro categorías fundamentales teniendo en cuenta su modo de operación. Máquinas de inclinación y mecedoras, Inmersión completa con mecanismo de renovación del medio nutriente, Inmersión parcial con mecanismo de renovación del líquido nutriente y por último Inmersión completa con transferencia neumática del líquido nutriente y sin reposición del medio. En el caso de las máquinas de inclinación y mecedoras, se han descrito dos tipos fundamentales, la de inclinación que, con una determinada cantidad de frascos, los inclina en un ángulo de 30 grados hacia lados opuestos y la otra los mece o los ladea, también 30 o 40 grados, cada 30 segundos. En la Inmersión completa con mecanismo de renovación del medio nutriente, se trata de una cámara elevada que se vacía periódicamente y luego se rellena con medio fresco. Para el funcionamiento del sistema de Inmersión parcial con mecanismo de renovación del líquido nutriente, los tejidos se colocan en un medio de soporte y se le aplica frecuentemente un medio líquido, que después se retira, con la característica de que solo se sumerge la base de las plántulas[11].

La Inmersión completa con transferencia neumática del líquido nutriente y sin reposición del medio tiene dos formas sobresalientes; el Recipiente para Inmersión Temporal Automatizada (RITA), que se muestra en la Figura 2 Recipiente para Inmersión temporal automatizada (RITA) y consiste en un frasco con dos cavidades que se comunican, en la parte superior se colocan los explantes y en la inferior el medio líquido, que será subido a la cámara superior con aire a presión y ahí se mantendrá burbujeando hasta que cese el bombeo, y el Biorreactor de Inmersión Temporal (BIT) que lo forman dos frascos interconectados, por mangueras de silicona, donde el aire a presión hace pasar el medio líquido de un frasco al otro donde están las plántulas y luego es retirado nuevamente al frasco anterior[4, 5].

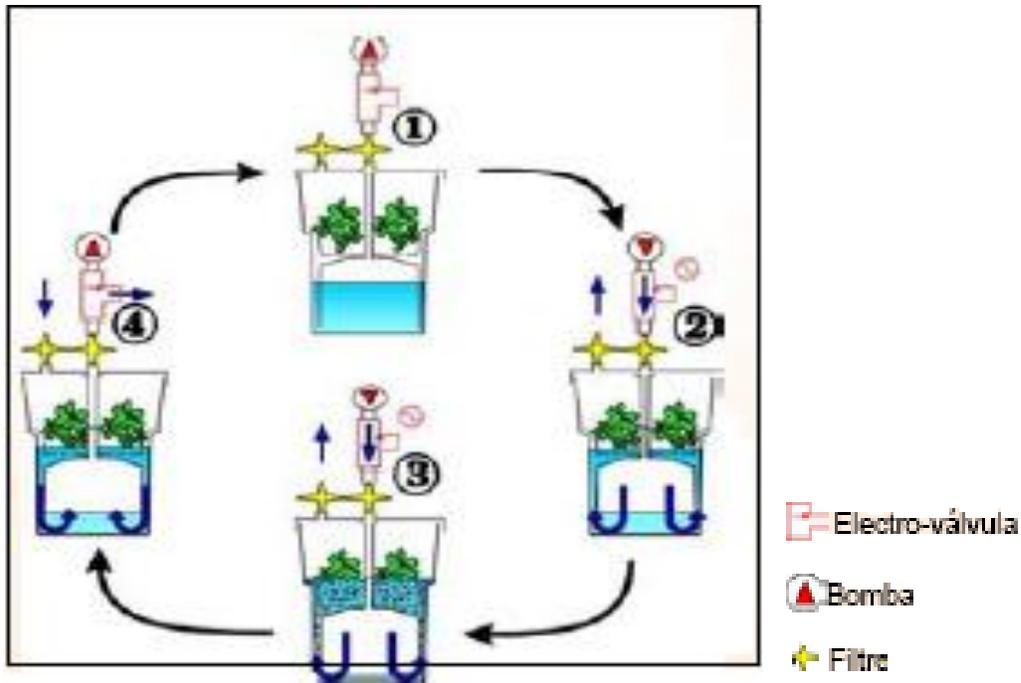


Figura 2 Recipiente para Inmersión temporal automatizada (RITA)

3.1.3 Ventajas

- ✓ El contacto directo con el medio de cultivo renovado durante cada inmersión garantiza una forma más eficiente de suministro de los nutrientes en comparación con la forma estática en que se toman los mismos en el cultivo convencional (semisólido o líquido).
- ✓ Los tiempos de inmersión son cortos, la mayoría del tiempo los explante están solamente recubiertos de una película de medio de cultivo líquido y de esta forma se evita la desecación de los mismos.
- ✓ La resistencia a la difusión de gases es baja y existe una mínima ruptura del intercambio gaseoso entre los tejidos y la atmósfera, por tal razón está dentro del vaso de cultivo se renueva en intervalos regulares de tiempo.

- ✓ La agitación por el flujo de aire durante la fase de inmersión causa expansión de los tejidos y se facilita un mayor contacto de estos con el medio de cultivo.
- ✓ Mayor optimización biológica por los altos coeficientes de multiplicación que se obtienen.
- ✓ Reducción importante de los costos por vitroplantas.
- ✓ Reducción del número de frascos y estantes en las cámaras de cultivo y por tanto mayor producción por metro cuadrado de cámara.
- ✓ Eliminación de la fase de enraizamiento in vitro.
- ✓ Mejor comportamiento de las vitroplantas ex vitro por mayor metabolismo autotrófico durante la fase in vitro. [9]

3.1.4 Biorreactor de inmersión temporal (BIT)

Un BIT, invariablemente, estará compuesto de dos frascos gemelos, conectados por mangueras de silicona, con válvulas de solenoide que posibilitan el paso del aire a presión y con filtros antibacterianos intercalados. Un frasco es el vaso de cultivo para los explantes y el otro, el recipiente para el medio de cultivo. Las condiciones de esterilidad se logran mediante el empleo de los filtros hidrofóbicos. Durante el período de inmersión, el flujo de aire permite el burbujeo del medio, remueve los explantes y cambia la atmósfera dentro del recipiente de cultivo[6, 18], como se muestra en la Figura 3 Diseño gráfico del Biorreactor de Inmersión temporal (BIT) desarrollado en el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba, por Maritza Escalona y otros.

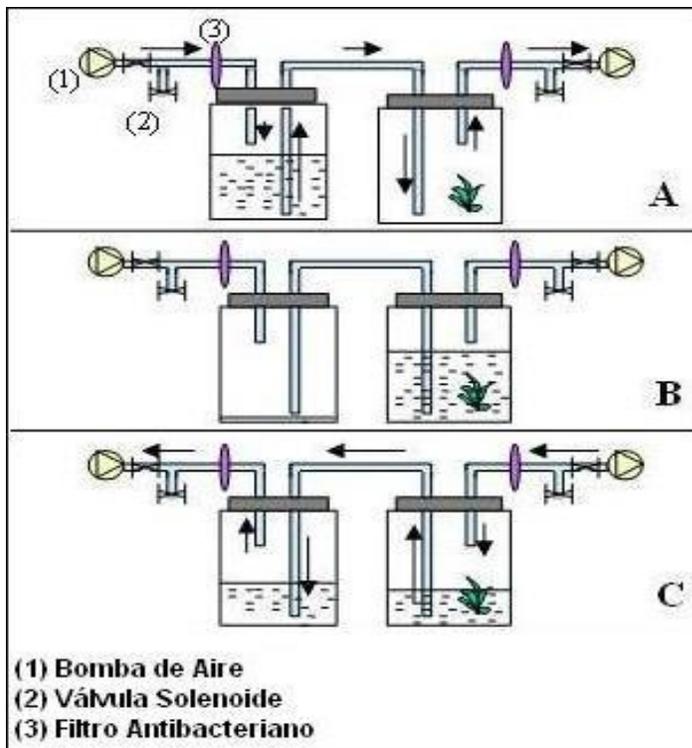


Figura 3 Diseño gráfico del Biorreactor de Inmersión temporal (BIT) desarrollado en el Centro de Bioplasmas de la Universidad de Ciego de Ávila, Cuba, por Maritza Escalona y otros

Generaciones anteriores de los BIT.

1ra Generación: El control del proceso era totalmente manual y empleando bombas de vacío. Los frascos eran de vidrio y mangueras plásticas.

2da Generación: El control se realiza a través de un temporizador diseñado para este propósito que empleaba un microprocesador Z-80 (Zilog), lo cual representaba un salto considerable en la fiabilidad del sistema. De esta generación se intentaron nuevas versiones empleando otros sistemas temporizadores con microprocesador. Se introducen los frascos plásticos y mangueras de silicona.

3ra Generación: Se emplean por primera vez autómatas comerciales, muy sencillos, el cual permitía programación por parte del investigador y la

parametrización del mismo era sumamente complicada. Otro salto significativo fue la inclusión del Dióxido de Carbono (CO₂)[14].

4ta Generación: El SmartBIT v1.0 es un Sistema de Supervisión y Control de Procesos de Biorreactores de Inmersión Temporal (BIT) desarrollado por el Centro de Bioplantas de la Universidad de Ciego de Ávila. En este sistema se aplica una configuración con una interfaz amigable para el usuario, como se muestra en la Figura 4, que les permite a los investigadores biólogos realizar tareas de control y adquisición de datos del proceso, donde se recogen las principales variables que intervienen, como son la temperatura, humedad relativa, las presiones, los flujos de aire, nivel de iluminación, entre otras. Este sistema está reflejado bajo la base de un autómata Master-K 120S de fabricación coreana, y utiliza como Sistema de Supervisión y Control de Procesos el Movicon X. Esta configuración del software de control ha alcanzado éxitos, por lo que se desea mantener la misma por sus ventajas, al mismo tiempo que su principal desventaja se presenta en que el software Movicon X tiene un alto precio en el mercado, así como los módulos analógicos del autómata Master-K 120S que tienen un costo elevado.

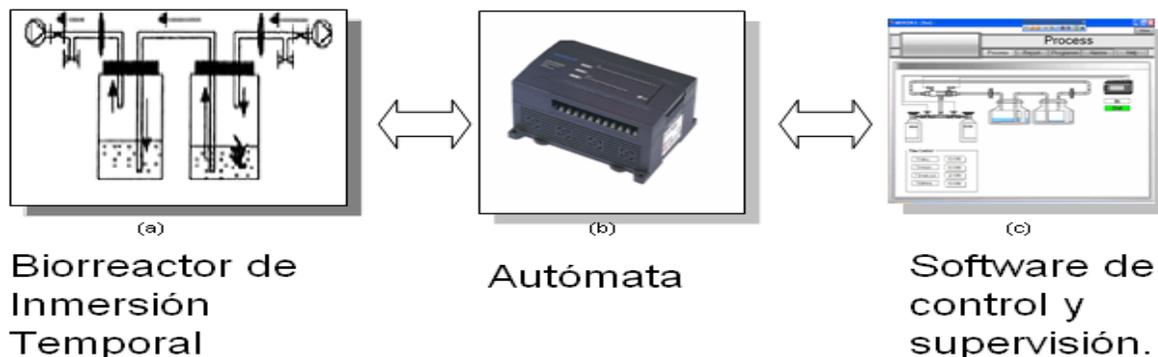


Figura 4 Configuración del SmartBIT v1.0

Por estos motivos se da la tarea de desarrollar un software que brinde las mismas prestaciones que el Movicon X y que sea de menor costo y comercializado en Cuba, así como la utilización de un autómata que presente una mayor cantidad de entradas y salidas digitales, y que los módulos analógicos necesarios para el proceso no sean tan costosos.

3.1.5 Sistema de Automatización

La automatización de procesos, en la actualidad, se realiza a partir del empleo de sistemas de control (SC)[15, 17], el cual consiste en un conjunto de subsistemas que deben trabajar de forma coordinada. Estos subsistemas se encuentran distribuidos físicamente en las instalaciones del (SC). La responsabilidad del sistema de control es el control y monitorización de estos subsistemas y proporcionar una interfaz de usuario homogénea. La arquitectura física del sistema de control consiste en una serie de computadores, equipos electrónicos, PLC, sensores y actuadores interconectados. Estos elementos son responsables del control directo de los diferentes subsistemas del SC. El sistema de control es responsable de otras tareas (planificación de observaciones, archivo de los datos, análisis de la calidad de los datos) para lo cual existe un número de estaciones de trabajo conectadas a través de una o más redes de área local, las cuales proveen acceso a un grupo de servicios centralizados (catálogos, archivos).

Una arquitectura de software abierta, flexible, distribuida y orientada a objetos es utilizada con el objetivo de proveer acceso independiente de la localización a los diferentes servicios distribuidos. Además, estos servicios son requeridos para garantizar un nivel de calidad de servicio. La implementación de esta arquitectura se simplifica mediante el uso de middleware (software que conecta dos aplicaciones diferentes) distribuido. Este middleware asegura mediante una política de planificación correcta, que todas las tareas tengan los recursos necesarios. Suministra un esqueleto "plug & play" donde los diferentes componentes del software de control son conectados. Esta arquitectura suministra un entorno homogéneo tal, que el tiempo y costo de desarrollo de los diferentes componentes sea reducido.

Controladores Lógicos Programables (PLC's)

Los PLC's[24] se introdujeron por primera vez en la industria en la década del 60 y hoy en día continúa su desenfrenado desarrollo. La razón principal del nacimiento de los autómatas fue la necesidad de eliminar el alto costo que se producía al

reemplazar el complejo sistema de control basado en relés y contactores que caracterizaban los procesos industriales hasta ese momento.

A finales de los años 60, la industria demandaba cada vez más un sistema de control económico, flexible y fácilmente modificable. En 1968 nacieron los primeros autómatas programables (APIs o PLC's). La compañía Bedford Associates propuso algo denominado Controlador Digital Modular (MODICON, Modular Digital Controller) a una empresa automotriz. Otras compañías propusieron esquemas basados en ordenador, uno de los cuales estaba basado en el PDP-8 (primera mini computadora, presentada el 22 de marzo de 1965 por Digital Equipment Corporation). El MODICON 084 resultó ser el primer PLC del mundo en ser producido comercialmente[18].

La capacidad de comunicación comenzó a aparecer en 1973 aproximadamente. El primer sistema fue el bus Modicon (Modbus). El PLC podía ahora dialogar con otros PLC y ubicarse alejado de las máquinas que controlaba. También se introdujeron en el mundo analógico al poder enviar y recibir señales de tensión. Desafortunadamente, la falta de un estándar, acompañado de un continuo cambio tecnológico, ha hecho que la comunicación de PLC sea un cúmulo inconexo de sistemas físicos y protocolos incompatibles entre sí. La principal virtud de un PLC es su facilidad de interconexión con el proceso. La tendencia actual es dotarlo de funciones específicas de control y de canales de comunicación para que puedan conectarse entre sí y con ordenadores en red[18].

Para el SmartBIT versión 1.0, se utilizó un PLC de origen coreano denominado Master K 120 S, pero como los costos de adquisición de este Controlador Lógico Programable (PLC) eran tan elevados, entonces se llega a la necesidad de sustituirle por otro que cumpla las mismas funciones y sea de menor costo. En el desarrollo del SmartBIT v2.0 se utilizó el erosPLC en sustitución del Master K 120 S. Para la selección del erosPLC se realizó el análisis que se muestra en la Tabla 3 Comparación entre Master K-120S y erosPLC. ¡Error! No se encuentra el origen de

la referencia., donde fueron comparados los Controladores Lógicos Programables erosPLC y Master K 120 S, en cuanto a sus características principales.

Fabricantes	LG (Corea)	EROS (Cuba)
	Master K-120S	erosPLC Compacto
Precio del módulo principal (CUC)	181.50	800.00
Precio de un solo módulo analógico en CUC (de 4 entradas o 4 salidas solamente)	150.00	No necesita
Entradas analógicas en módulo principal	No tiene	24
Salidas analógicas en módulo principal	No tiene	8
Entradas digitales sin expansiones	12	16
Salidas digitales	8	8
Puertos	RS-232/485	RS-232/485
Red de comunicación industrial	Modbus y otros más	Modbus
Posibilidad de expansiones digitales	Si	Si
Posibilidad de expansiones analógicas	Si	Si

Software de programación	KGL-WIN (propietario del fabricante)	ISaGRAF (Estándar IEC 61131-3) mediante erosPG
Lenguajes de programación	IL, LD	IL, LD, FBD, SFC, ST
Alimentación	100-240VAC/24VDC	24VDC

Tabla 3 Comparación entre Master K-120S y erosPLC.

3.2 Eficiencia energética

La eficiencia energética se conoce como un conjunto de acciones que permiten el ahorro de energía en todos sus tipos, ya sea eléctrica, térmica, etc. Su objetivo es lograr emplear la menor cantidad de energía posible, con un menor impacto sobre el medio ambiente.

En el mundo moderno una de las problemáticas es sin lugar a duda, la energía, ya que de ella depende el funcionamiento de las fábricas, la obtención de alimentos, la iluminación, climatización de los hogares, transporte de personas y mercancía, etc.

A mediados de 1973 el mundo empezó a ser consciente de la vulnerabilidad de los recursos energéticos, ya que se a raíz de la disminución de las reservas y la elevación del precio del petróleo, consecuencia de la invasión de Israel a los palestinos

El problema energético adquiere una importancia crucial, no sólo desde el punto de vista de la satisfacción creciente de la demanda global, sino además en lo que se refiere al impacto ambiental del sistema energético contemporáneo, basado en la utilización de los Combustibles fósiles. Esta situación fue planteada desde 1976 por el físico ruso Piotr Kapitsa al señalar que "... debido al aumento de la población y al crecimiento de la cultura material alcanzados en nuestro siglo, se han introducido procesos tecnológicos y energéticos que comienzan a cambiar la naturaleza a nivel de todo nuestro planeta.

La eficiencia energética es el consumo inteligente de la energía. Las fuentes de energía son finitas, por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad del presente para que podamos disfrutar de ellas en un futuro.

3.3 Eficiencia energética en un biorreactor de inmersión temporal

Aquí trataremos los principales conceptos sobre iluminancia, temperatura y el compresor sus respectivos consumos energéticos y los efectos producidos sobre los biorreactores.

Ya que el sistema de inmersión temporal de in biorreactor, está formado por dos recipientes de plástico autoclaveable translúcidos, mangueras de silicona esterilizables en autoclave, filtros hidrofóbicos de 0.2 μ m, electroválvulas y un compresor de aire. Un frasco es el vaso de cultivo para los explantes y el otro, el recipiente para el medio de cultivo. Ambos frascos se comunican a través de mangueras de silicona.

Las condiciones de esterilidad se logran mediante el empleo de filtros hidrofóbicos de 0.2 μ m de diámetro. Las baterías de cultivo (formadas por un frasco para el cultivo de los explantes y un frasco para el almacenamiento de medio) se colocan en estantes de aluminio de dimensiones de 0.7 m de ancho x 2.3 m de largo x 2.5 m de alto.

La distribución de aire desde el compresor a los frascos se realiza a través de una conexión de PVC. Cada piso en el estante tiene un panel de luces (blancas fluorescentes) que garantizan una DFFF entre 30 y 50 μ mol. m⁻². s⁻¹.

La frecuencia y el tiempo de inmersión se controlan a través de un autómatas programable. Según el tiempo programado, se abre una válvula y el aire proveniente del compresor impulsa el medio de cultivo hacia el frasco que contiene los explantes.

Durante el período de inmersión, el flujo de aire permite el burbujeo del medio, remueve los explantes y cambia la atmósfera dentro del recipiente de cultivo.

Pasado el tiempo de inmersión, se activa una segunda válvula y se regresa el medio al recipiente de almacenamiento. Mediante el controlador automático se regula la frecuencia y el tiempo de inmersión.

3.3.1 Iluminación

La iluminancia se puede definir como el flujo luminoso recibido por una superficie. Esta se la puede medir desde cualquier punto de la habitación, esta va a cambiar tomando en cuenta la distancia desde el origen de la luz, la cual tiende a disminuir en relación con la distancia desde la fuente de luz. Su medida es el Lux. Figura 6 Magnitudes de iluminación

En esta tesis el objetivo principal es la búsqueda de la eficiencia energética en el centro de bioplantitas, pero en esta sección se hablará de la eficiencia luminosa, esto se le conoce como a la reducción de los costos, ya que es la correspondencia entre la luz generada y la potencia consumida para producirla.

Eficiencia luminosa es la división entre lumen y el consumo de la energía medida en watos. (lm/W).

3.3.1.1 Matematicamente, Equivalencia de Lumen a Lux

Lo que se requiere saber es la iluminancia que se puede alcanzar con una bombilla led sobre una determinada superficie, en este caso sobre el biorreactor de inmersión temporal del laboratorio de bioplantitas, esto se mide en "LUX" y se determina con un luxímetro, pero también se puede determinar mediante unos cálculos. Figura 5 Variables de la Iluminación

Para calcular de Lumen a Lux se requiere los siguientes valores:

Lm= Lumen de la bombilla LED (flujo luminoso)

D= Distancia a la superficie a iluminar

A= Angulo del HAZ luminoso o Angulo solido

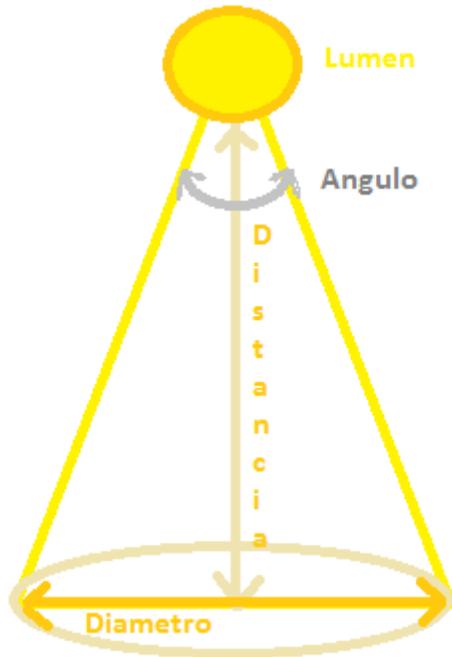


Figura 5 Variables de la Iluminación

Fórmula para convertir Lumen a Lux:

$$I_v = \frac{Lm}{\Omega}$$

Ecuación 1

I_v=Intensidad de luz (Candela - cd)

Lm= Flujo luminoso (Lumen)

Ω= Angulo solido

$$E_v = \frac{I_v}{r^2}$$

Ecuación 2

E_v= Lux – iluminancia sobre una superficie (lx)

I_v= Intensidad de luz (Candela - cd)

r²= El radio o la distancia al cuadrado

Magnitud	Símbolo	Definición	Unidad	Relación
Flujo luminoso	Φ	Cantidad de luz radiada o emitida en un segundo en todas las direcciones.	Lumen (lm)	$\Phi = Q/t$ $\Phi = I * \omega$
Cantidad de luz	Q	Flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo.	Lumen x h	$Q = \Phi * t$
Intensidad luminosa	I	Flujo emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa dirección.	Candela (cd) (cd=lm/sr)	$I = \Phi/\omega$
Iluminancia, iluminación o nivel de iluminación	E	Relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área.	Lux (lx) (lx= lm/m ²)	$E = \Phi/S$
Luminancia	L	Cociente entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección.	Stilb (Sb) (Sb= cd/cm ²) Nit (n) (n = cd/m ²)	$L = \frac{I}{S} \cos \beta$
Eficacia luminosa	ϵ	Flujo que emite una fuente de luz por unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención.	Lumen/watio lm/w	$\epsilon = \Phi/P$
Coefficiente de utilización	η	Relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por una fuente luminosa.	%	$\eta = \Phi/\Phi_e$
Reflectancia	ρ	Relación entre el flujo reflejado por un cuerpo (con o sin difusión) y el flujo recibido.	%	$\rho = \Phi_r/\Phi$
Absortancia	α	Relación entre el flujo luminoso absorbido por un cuerpo y el flujo recibido.	%	$\alpha = \Phi_a/\Phi$
Transmitancia	τ	Relación entre el flujo luminoso transmitido por un cuerpo y el flujo recibido.	%	$\tau = \Phi_t/\Phi$
Factor de uniformidad media	U_m	Relación entre la iluminación mínima y la media, de una instalación de alumbrado.	%	$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}}$
Factor de uniformidad extrema	U_e	Relación entre la iluminación mínima y la máxima, de una instalación de alumbrado.	%	$U_e = \frac{E_{min}}{E_{max}}$
Factor de uniformidad longitudinal	U_L	Relación entre la luminancia mínima y máxima longitudinal, de una instalación de alumbrado.	%	$U_L = \frac{L_{min \text{ long}}}{L_{max \text{ long}}}$
Factor de uniformidad general	U_0	Relación entre la luminancia mínima y media, de una instalación de alumbrado.	%	$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}}$
Factor de mantenimiento	F_m	Coefficiente que indica el grado de conservación de una instalación.	%	$F_m = F_{pt} * F_{dt} * F_t * F_c * F_e$

Figura 6 Magnitudes de iluminación

3.3.2 Temperatura

La temperatura es uno de los factores ambientales más importantes que afectan el crecimiento y desarrollo de los organismos vivos. El crecimiento del cultivo PIÑA

MD2 depende también de la temperatura, por lo que se requiere conocer un valor óptimo para una tasa máxima de crecimiento.

La temperatura también es importante para la disociación de las moléculas de carbono, haciéndolo disponible para la fotosíntesis. La temperatura influye en la respiración y fotorespiración de manera más marcada que en la fotosíntesis.

La temperatura óptima para el cultivo de PIÑA MD2 se encuentra generalmente entre los 24 y 37 °C, no obstante, estas pueden variar dependiendo del medio de cultivo, pero en este cultivo se utiliza este rango.

3.3.3 Compresor

En la Biofabrica en la parte del compresor, las mediciones de consumo no se pudieron realizar, porque el compresor alimenta a todo el centro de Bioplanta y no solo del biorreactor que es la medición que se buscaban realizar. Pero el análisis al problema es que el biorreactor si arranca en todas las estaciones, los estantes a la misma vez, puede ocurrir que no halla la presión suficiente y por lo tanto no se pueda efectuar óptimamente el proceso de inmersión y de secado, por lo tanto la influencia de eficiencia energética es en impedir que esto suceda, ya sea que deba realizar a todos los experimentos que se eleven al mismo tiempo, debido que el proceso de inmersión y de secado es tan rápido, se puede mandar a que la inmersión ocurra en un instante, esperar un tiempo, mientras se envía a que ocurra la inmersión de otro estante, con un mismo nivel de presión se pueda manejar la misma cantidad de estantes que se desee y no este influenciado por manejar mayor nivel de presión para poder suplir el manejo de todos los estantes al mismo tiempo.

En mi control se tiene en cuenta los números de estantes, los tiempos que hay para la inmersión, el tiempo para el secado, el tiempo de espera inmerso y tiempo de espera seco, para así poder calcular en qué momento se inicia o dispara cada uno de los estantes. Figura 7 Tiempos de los biorreactores de inmersión temporal

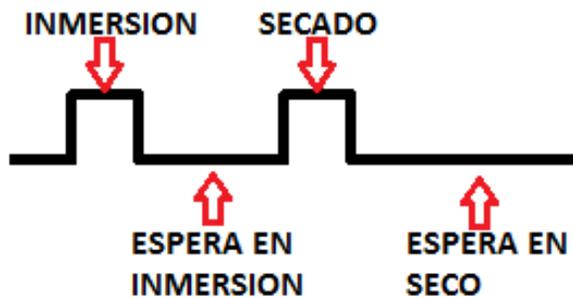


Figura 7 Tiempos de los biorreactores de inmersión temporal

En la Figura 8 Diagrama de tiempo estado ideal BIT, se presenta el diagrama de tiempo o carta de estado en estado ideal. Pero en el caso dos pueda que ocurra que en un tiempo 1 el estante uno se dispare inmersión, en tiempo 2 el estante dos se dispare inmersión, en el tiempo 3 el estante tres se dispare inmersión, y en el tiempo 4 el estante uno se dispara para realizar el secado del biorreactor, por lo tanto, el estante cuatro no se podía disparar y tiene que esperar que pase este proceso de secado para poder disparar su estado de inmersión en un tiempo 5.

Figura 9 Diagrama de estados, caso 2 BIT

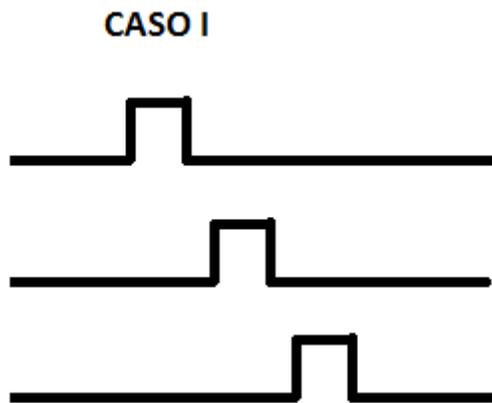


Figura 8 Diagrama de tiempo estado ideal BIT

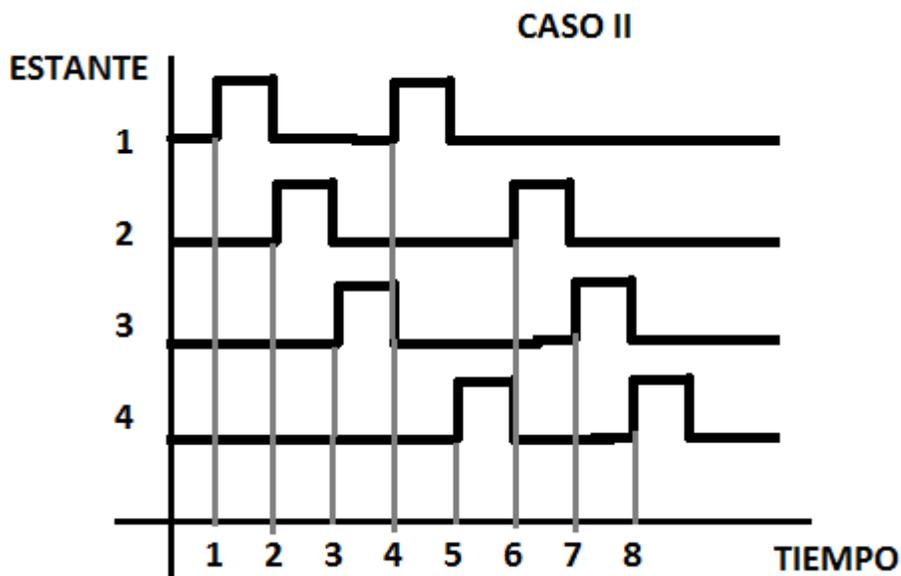


Figura 9 Diagrama de estados, caso 2 BIT

No solo es control desfasando, el desfase atiende los otros procesos que se están realizando en cada estante, debido que el tiempo de inmersión y el tiempo de secado son más cortos que el tiempo de espera.

En esto consiste el control automático adaptativo del compresor. Sus dependencias para realizar cierto control son:

Tipo de cultivo

Tipo de proceso

Protocolo

Numero de estantes

Nivel de presión capaz de entregar el compresor

El tipo de cultivo y el tipo de proceso depende del protocolo que se va a seguir ya sea en multiplicación o en el proceso de enraizamiento cada uno tiene protocolos diferentes. Todo está relacionado con los números de estantes por los tiempos que se manejan, como se puede observar en la carta de presentación anteriormente

mencionada. Lo anterior depende de la cantidad de estantes, porque este define la carta de estado anteriormente explicada, y depende del nivel de presión que es capaz de dar el compresor.

Este control automático es adaptativo, porque no se puede predecir con antelación como se va a comportar, porque depende de que en un momento determinado te puedan cambiar el protocolo porque puede que ya enraizó suficiente y ya tiene que es crecer, pero sigue siendo el mismo cultivo, pero ya con otro protocolo.

3.4 Incidencia de la iluminación y la temperatura en el BIT

En un cultivo las fases de propagación son cinco (5). Fase 1 preparatoria, Fase 2 Establecimiento, fase 3 Multiplicación, fase 4 Enraizamiento, fase 5 A climatización. Pero las fases que nos interesan en el estudio en un biorreactor de inmersión temporal son solo tres fases, establecimiento, multiplicación y enraizamiento. En la fase preparatoria es todo el tratado que se realiza antes de entrar el estudio in-vitro, en la fase dos el establecimiento se hace en un medio semi-sólido líquido, pero en esta fase no existe la automatización, ya que el gasto es nulo, el gasto solo se ve en la iluminación del sector.

La incidencia de la iluminancia en un BIT tiene un efecto fundamental, ya que las plantas fuera del ambiente in-vitro las plantas necesitan la luz para vivir, para el proceso de la fotosíntesis, ya que las plantas son las únicas capaces de convertir la energía lumínica a energía química. Ellas captan la luz con una longitud de onda dada entre los 400 nanómetros a los 700 nanómetros, esta intensidad que ocurre entre van desde los 400 nanómetros que son la luz azul, la más energética, a la luz roja que es 700 nanómetros, la menos energética, pero la más asimilada por la planta. Las plantas tienen unos LHC que son receptores de luz la cual absorben a esas distintas longitudes de ondas de la luz para con ellas crearlas en energía química. Figura 10 Longitud de onda, luz solar

Por esta razón la luz es un factor fundamental.

Cuando una planta está in vitro la pasa a in-vitro el autotropismo, es la capacidad de generar su propia fuente carbonada, se pierde, porque en el medio de cultivo ya sea en los reactores de sistemas de inmersión temporal en un líquido o en medios emisores normal se pierde la síntesis de los compuestos.

En un biorreactor se inmersión se habla de coeficiente de multiplicación, que es la cantidad de plantas que se van a generar en un X cantidad de tiempo, y la ventaja de realizar en un biorreactor de inmersión temporal comparado con el cultivo in-vitro convencional es el coeficiente de multiplicación es exponencialmente, el cual el aumento es considerable. Ya que en el cultivo en biorreactor de inmersión temporal el cultivo el intercambio con el medio con las plantas es más directo.

También existen otros factores físicos como son la temperatura y el espacio gaseoso, que facilitan que estas plantas logren condiciones que se asemejen un poco más con el in-vitro, por lo tanto, las plantas son más fusionables en ese y se relaciona con la luz dependiendo del cultivo, ya q para todos los cultivos no es la misma intensidad lumínica o temperatura. En este trabajo estaremos con el cultivo PIÑA MD2 el cual la Piña está clasificada por su fisionomía y metabolismo, la piña son planta CAM el cual necesitan alta intensidad lumínica y altas temperaturas, porque sus tejidos son capaces ante esas condiciones reservar agua y poder metabolizar los compuestos más eficientemente que otras. La incidencia de lux en las plantas in-vitro de inmersión temporal la tasa de fotosíntesis aumentó considerablemente con respecto a las tasas de fotosíntesis que están en un cultivo convencional, ósea, en semisólido. Figura 11 Comportamiento de las plantas a la iluminancia

La temperatura y la iluminación tienen una gran importante están directamente conectados, ya que la luz hace que encima actúen en la captación activa de la luz solar y la temperatura las enzimas son termolábiles, responde a una determinada temperatura, y fotolabiles, a mayor intensidad de luz los fotosistemas no se activan.

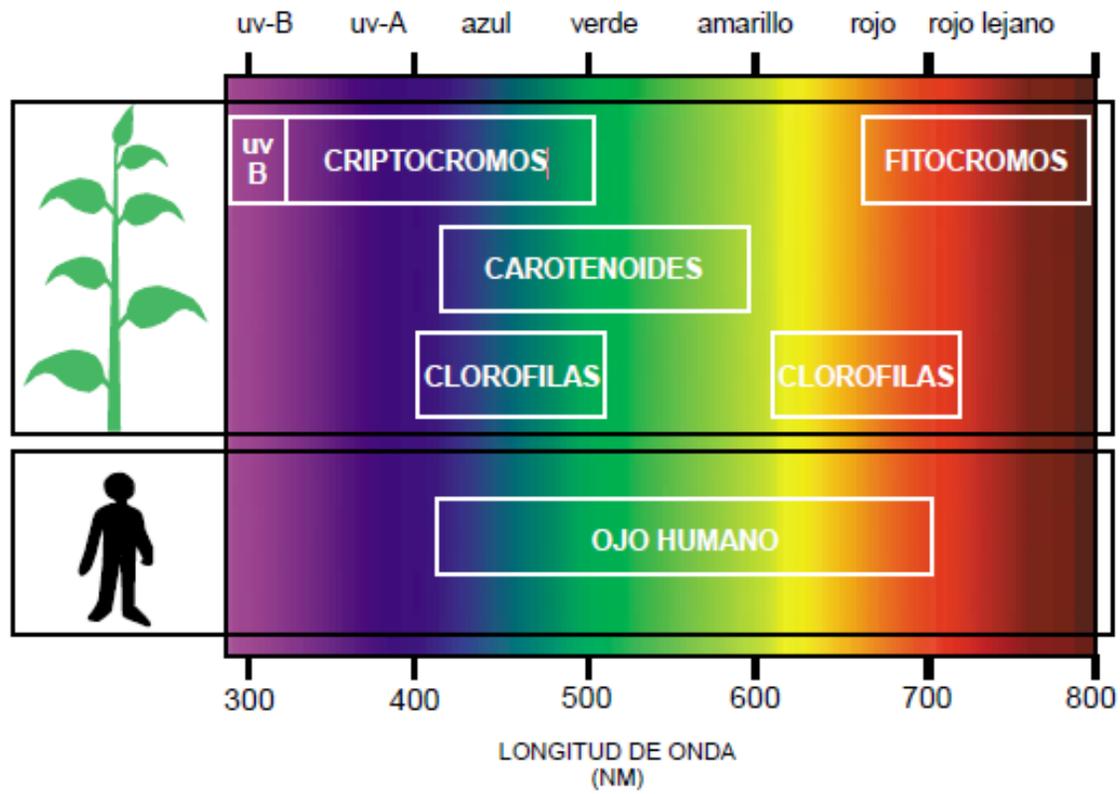


Figura 10 Longitud de onda, luz solar

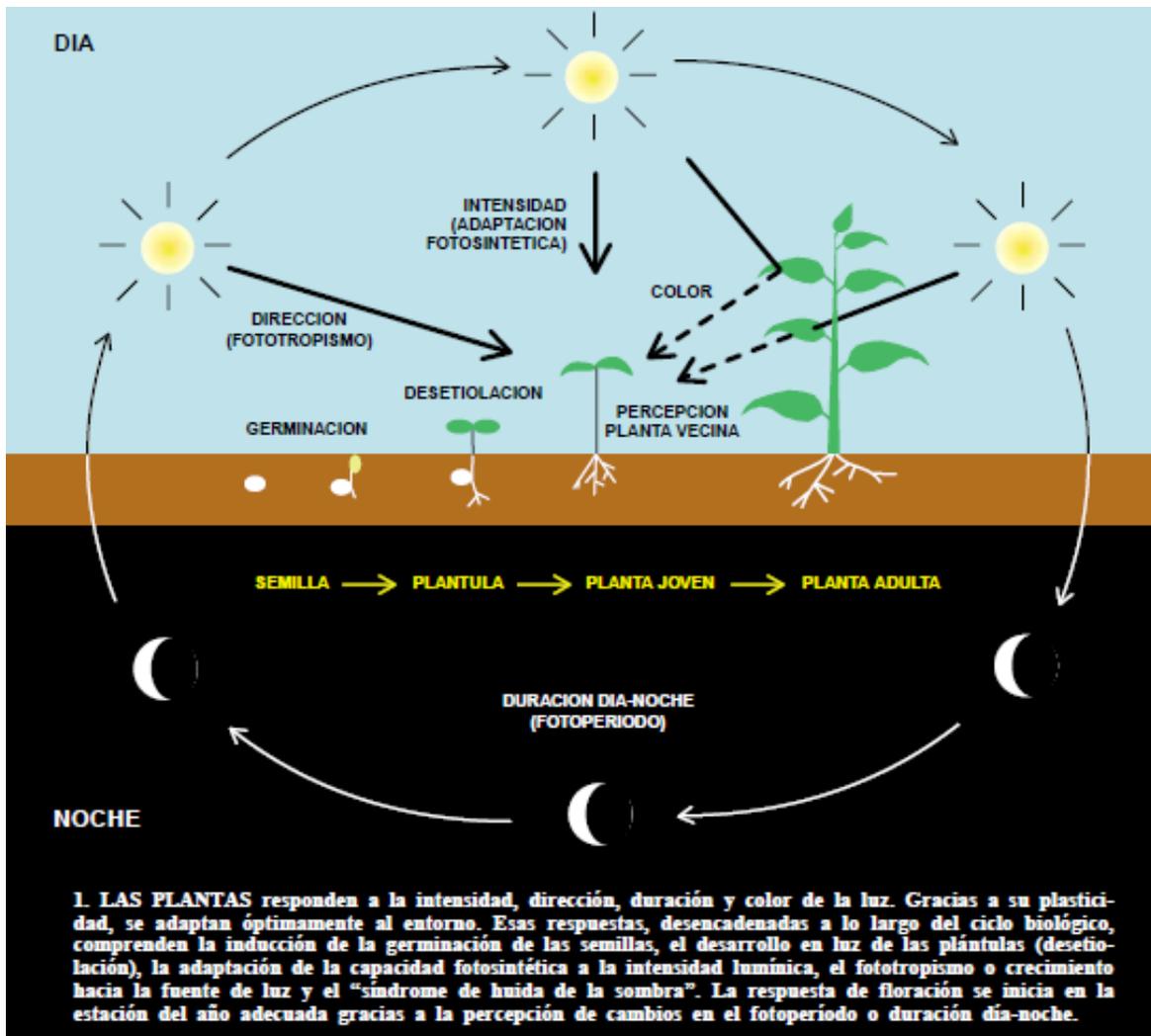


Figura 11 Comportamiento de las plantas a la iluminancia

4 CAPITULO 2. MATERIALES

Un sensor o también llamado captador, no es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante la utilización de componentes pasivos (Todo aquel componente que varía su magnitud en función de alguna variable), y la utilización de componentes activos.

4.1 Materiales

En esta sección se describen los materiales usados, los cuales fueron necesarios para la ejecución de la investigación propuesta en el laboratorio de Bioplantitas de la Universidad de Ciego de Ávila ubicada en Cuba.

4.1.1 Sensores y hardware empleados

4.1.1.1 Sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor ultrasónico HC-SR04, es un sensor de distancias por ultrasonidos capaz de detectar objetos y calcular la distancia a la que se encuentra en un rango de 2 a 450 cm. El sensor funciona por ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. Su uso es tan sencillo como enviar el pulso de arranque y medir la anchura del pulso de retorno.

El HC-SR04 es de pequeño tamaño y se destaca por su bajo consumo, se caracteriza por su gran precisión y bajo precio por lo que está reemplazando a los sensores polaroid en los robots más recientes. Tiene un ángulo de menos de 15 grados y una precisión de aproximadamente ± 3 mm.

En la Figura 12 Sensor ultrasónico HC-SR04 que se presenta a continuación es el sensor ultrasónico HC-SR04.



Figura 12 Sensor ultrasónico HC-SR04

4.1.1.1 Características y principio de funcionamiento

- Dimensiones del circuito: 43 x 20 x 17 mm
- Tensión de alimentación: 5 Vcc
- Frecuencia de trabajo: 40 KHz
- Rango máximo: 4.5 m
- Rango mínimo: 1.7 cm
- Duración mínima del pulso de disparo (nivel TTL): 10 μ s.
- Duración del pulso eco de salida (nivel TTL): 100-25000 μ s.
- Tiempo mínimo de espera entre una medida y el inicio de otra 20 ms.

Pines de conexión:

- VCC
- Trig (Disparo del ultrasonido)
- Echo (Recepción del ultrasonido)
- GND

Principio de funcionamiento

1. Se envía un pulso de al menos $10\mu\text{s}$ por el pin TRIG para iniciar un disparo y empezar la lectura. Figura 13 Inicio de lectura

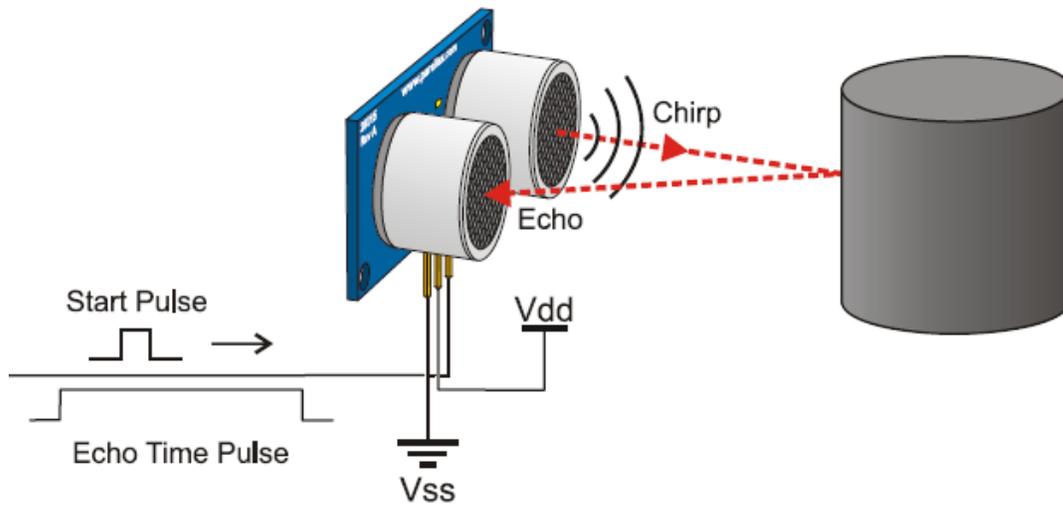


Figura 13 Inicio de lectura

2. El módulo pondrá en alto el pin ECHO en ese momento enviará 8 señales ultrasónicas, cuando rebote (haga eco) una de ellas, el pin ECHO se pondrá en nivel bajo, la duración de este cambio en el pin nos dará la distancia de nuestro objeto usando la fórmula mencionadas en la sección 6.1.1.1.2. Ver (Figura 6.1.1.1.b)

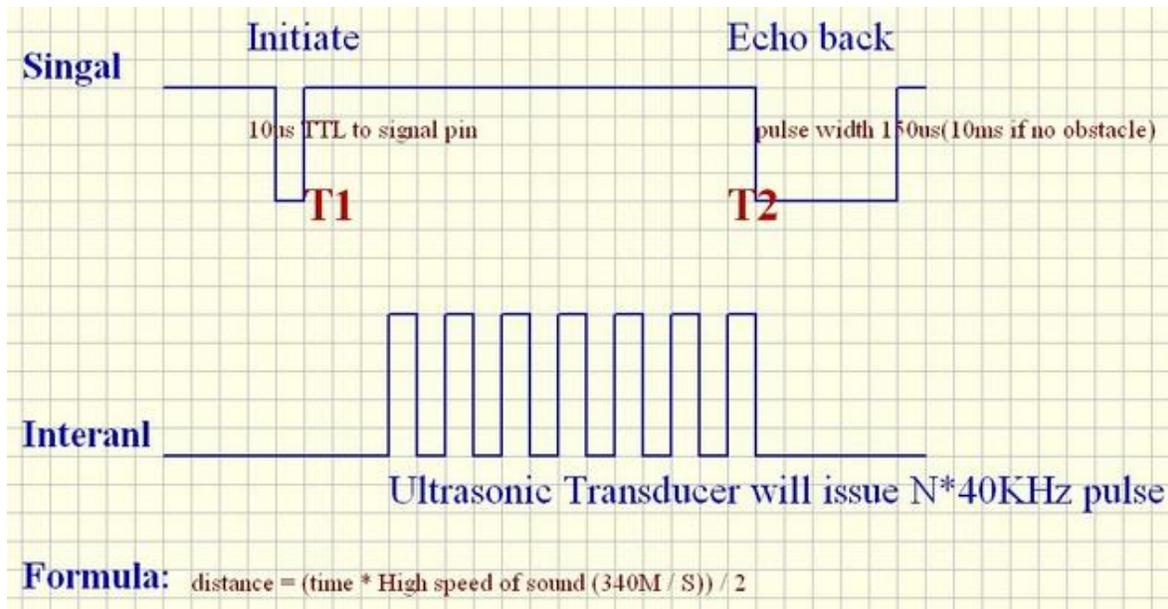


Figura 14 Principio de funcionamiento

4.1.1.1.2 Matemáticamente

El sensor HC-SR04, utiliza un sonido ultrasónico para medir la distancia como lo hacen los murciélagos y los delfines. El Sonido ultrasónico es a frecuencias altas, de tal manera que los humanos no lo pueden percibir. Este sensor en particular, envía un sonido ultrasónico que tiene una frecuencia de aproximadamente 40 kHz. El sensor tiene dos partes principales: un transductor que crea un sonido ultrasónico y otro que se encarga de detecta el eco.

Para medir distancia con este sensor, debemos conectarle una parte lógica la cual mide el tiempo que tarda el sonido desde el momento en que se envía y hasta el momento que se receptiona el ECO.

Para medir la distancia utilizamos la siguiente fórmula:

Sabiendo que el sonido viaja a una velocidad de 340 m/s.

$$\text{Distancia} = \frac{(\text{tiempo} * \text{VelocidadSonido})}{2} \text{ (metros)}$$

Ecuación 3

El resultado de la fórmula estará dado en metros. El “2” está en la fórmula porque el sonido tiene que dar un viaje de ida y otro de vuelta. Primero el sonido viaja lejos del sensor, y luego rebota de una superficie y vuelve de nuevo.

Despejando la fórmula de velocidad despejamos espacio y tenemos:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Espacio}}{\text{Tiempo}}$$

Ecuación 4

$$\text{Espacio} = \text{Velocidad} * \text{Tiempo}$$

$$\text{Velocidad}_{\text{sonido}} = 343 \text{ m/s} = 0.0343 \text{ cm}/\mu\text{s}$$

Ecuación 5

$$\text{Espacio} = 0.0343 * \text{Tiempo}$$

Ya tenemos la ecuación, pero como la onda realiza recorrido el camino dos veces (ida y vuelta) hay que dividir entre dos para conocer la distancia a la que se encuentra el objeto.

$$\text{Espacio} = 0.01715 * \text{Tiempo}$$

4.1.1.2 Sensor infrarrojo MLX90614

El sensor infrarrojo MLX90614 ofrece dos métodos de salida: PWM y SMBus (es decir, TWI, I2C).

La salida de PWM de 10-bit ofrece una resolución de 0,14 °C, mientras que la interfaz TWI tiene una resolución de 0,02 °C.

El MLX90614 viene calibrado de fábrica en un amplio rango de temperaturas: -40 a 85 °C para la temperatura ambiente y -70 a 382.2 °C para la temperatura de objetos.

El valor promedio es la temperatura media de todos los objetos en el campo de visión del sensor. El MLX90614 ofrece una precisión estándar de 0.5 °C referente a la temperatura ambiente.

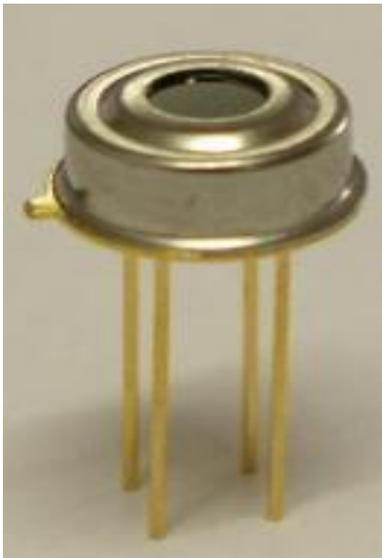


Figura 15 Apariencia física del Sensor infrarrojo MLX90614

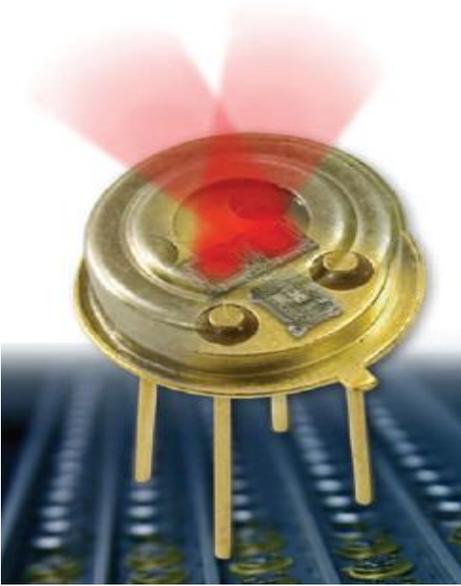


Figura 16 Apariencia del Sensor infrarrojo MLX90614

4.1.1.2.1 Características y principio de funcionamiento

Características:

- Tamaño pequeño, bajo costo
- Fácil de integrar
- Calibrado de fábrica en el amplio rango de temperaturas:
 - -40 a +125 °C temperatura ambiente
 - -70 a 382.2 °C temperatura del objeto
- Interfaz digital SMBus compatible
- Salida personalizable de PWM para la lectura continua
- Alta precisión de 0,5 °C
- Resolución de la medida de 0,02 °C
- Simple adaptación de 8 a 16V para diversas aplicaciones
- Modo de ahorro de energía

El diagrama funcional

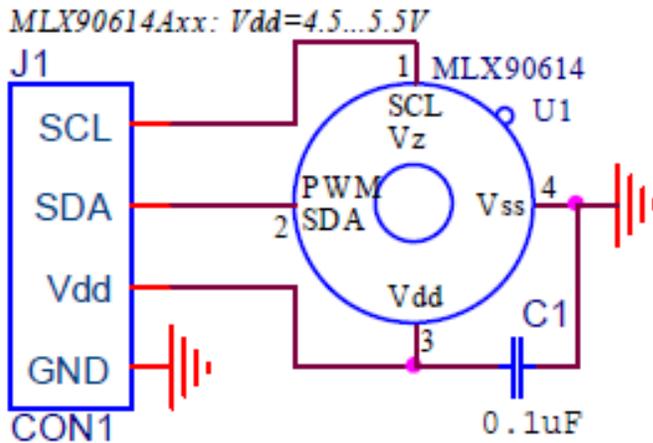


Figura 17 Esquemático Sensor infrarrojo MLX90614

El valor de capacitor 1 “c1” y su tipo pueden diferir en las diferentes aplicaciones para el óptimo desempeño.

4.1.1.2.2 Matemáticamente

El sensor Melexis MLX90614ESF-BAA es un termómetro infrarrojo diseñado para la detección de temperatura sin contacto. En su interior tiene un registro interno ADC de 17-bit y un potente DSP (Procesador digital de señal) contribuyen a la alta precisión y resolución del MLX90614. Se caracteriza por tener un gran número de aplicaciones, incluyendo la medida de la temperatura del cuerpo y la detección de movimiento.

$$\text{Emisividad} = \text{dec2hex} [\text{round}(x) * \varepsilon]$$

Ecuación 6

Donde $\text{dec2hex} [\text{round}(x)]$ representa el decimal a la conversión del hexadecimal con redondeo fuera del valor más cercano.

En este caso los valores de la emisividad físicos serían $\varepsilon = 0.1 \dots \dots 1.0$

4.1.1.3 Placa de desarrollo Arduino Uno

La placa de desarrollo Arduino UNO es una versión del hardware del proyecto de código abierto Arduino, además se trata de la tarjeta más popular en internet. Esta plataforma de computación física está basada en una sencilla placa de I/O (Entrada y salida) y un entorno de desarrollo libre (open source) que podemos descargar de forma totalmente gratuita.

Arduino es además toda una comunidad que ha desarrollado software y hardware la cual permite realizar aplicaciones complejas de manera rápida e intuitiva. Por lo tanto, la plataforma Arduino es ideal para aquellas personas que desean iniciarse en la programación de microcontroladores, ya sean estudiantes, profesores, artistas, etc. Ya que el entorno de programación puede descargarse de manera gratuita desde la página oficial del proyecto y la documentación, ejemplos y proyectos completos.

Esta nueva versión de la tarjeta Arduino, que contiene todas las características de la versión anterior (Arduino Duemilanove) pero en esta versión se ha sustituido el puerto USB-UART (FT232RL) por un microcontrolador ATmega16U2, esto permite tasas de transferencia más elevadas y la posibilidad de lograr que arduino se muestre como un teclado, mouse, joystick, o cualquier otro dispositivo USB mediante la carga de un programa especial en este chip. Esta es una tarjeta original, fabricada en Italia.



Figura 18 Placa de desarrollo Arduino Uno

4.1.1.3.1 Características

Características del Arduino UNO R3:

- El Arduino UNO está recomendado para principiantes en la electrónica y el mundo de Arduino
- Basado en el microcontrolador ATMEGA328
- Rango de alimentación de 7 a 12 volts recomendado
- 14 entradas/salidas digitales, 6 canales de PWM
- 6 Entradas analógicas
- 32 K de memoria Flash para programas
- Frecuencia de reloj de 16 Mhz

5 CAPITULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 Objetivo específico #1 diseñar un sistema de control de posición para el BIT

Diseño de sistema de control para un BIT

Un sistema de control de movimiento consiste en un controlador de movimiento, un accionamiento de motor y sensores de realimentación, en este caso sensor de iluminación.

Este control de posición del motor se encontrará en una banda transportadora donde están ubicadas los Biorreactores de inmersión temporal, con el objetivo de buscar la posición óptima para adquirir la iluminación necesaria en el cultivo de PIÑA MD2.

Un controlador de movimiento hoy puede ser un controlador programable autónomo, una computadora personal o un controlador lógico programable (PLC).

La mayoría de los sistemas de control de movimiento son impulsados por motores eléctricos debido a los beneficios que nos ofrece tales como:

Posición de carga más preciso.

Mayor flexibilidad y adaptación.

Mayor rendimiento en eficiencia y capacidad.

Diseño simplificado para instalación, programación y entrenamiento más sencillo.

Menor tiempos de parada, menor costo de mantenimiento.

Sistema de lazo cerrado

Un lazo de control de posición, generalmente contiene un codificador capaz de mediciones directas o indirectas de la posición de carga. Los sensores de posición e iluminación generan señales de error que son enviadas al controlador de movimiento, el cual produce una señal correctiva para el amplificador. La salida del amplificador hace que el motor acelere o disminuya para corregir la posición del Biorreactor en el estante en una banda transportadora. **Figura 19 Control de posición para un BIT**

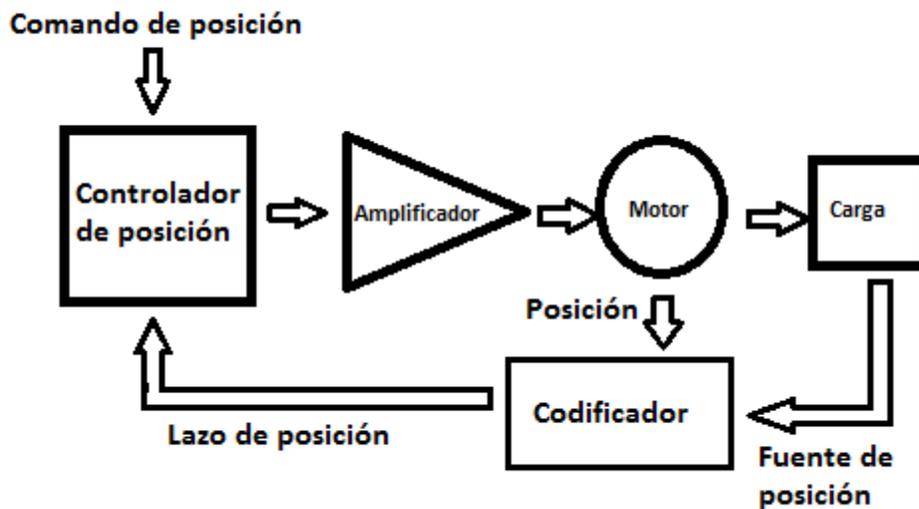


Figura 19 Control de posición para un BIT

Como se puede observar para controlar la posición óptima del Biorreactor de inmersión temporal, para este caso la multiplicación de cultivo PIÑA MD2 donde la iluminación óptima para estos explantes es de 2440 lux, el BIT está ubicado en una banda transportadora en cada pido de los estantes en donde por medio del motor y como referencia el sensor de iluminación, se obtendrá la posición óptima de cada BIT. **Figura 20 Diseño de control de posición BIT**

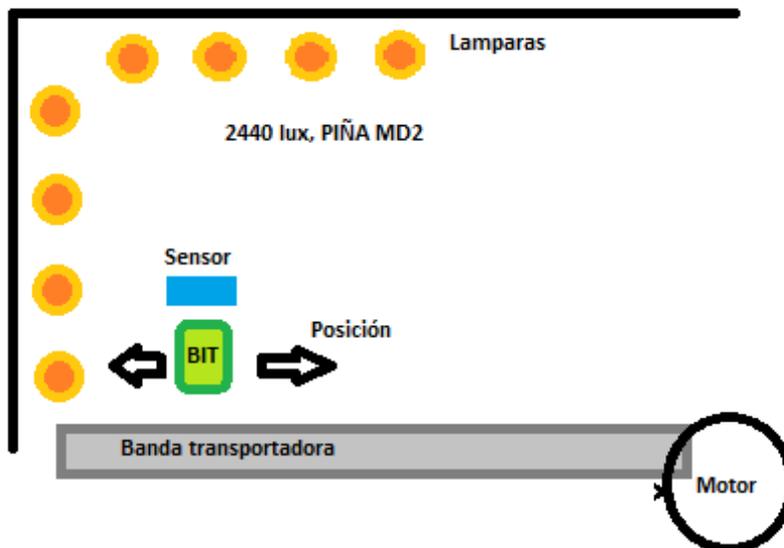


Figura 20 Diseño de control de posición BIT

Esquema funcional de PLC

En este esquema funcional de un PLC para un motor, el PLC tiene el control de los datos tales como la posición y velocidad del motor, entre otras, este envía al driver los datos o comandos de cómo actuar sobre el motor, por medio del lazo de control este se va refrescando al recibir información del encoder de la velocidad y posición en la que se encuentra actualmente, con esta información el Drive efectúa una potencia sobre el motor generando una rotación en la que esta actúa en la banda transportadora en donde se encuentra el Biorreactor de inmersión temporal, con el fin de buscar la posición óptima en iluminación. **Figura 21 Esquema funcional del PLC, BIT**

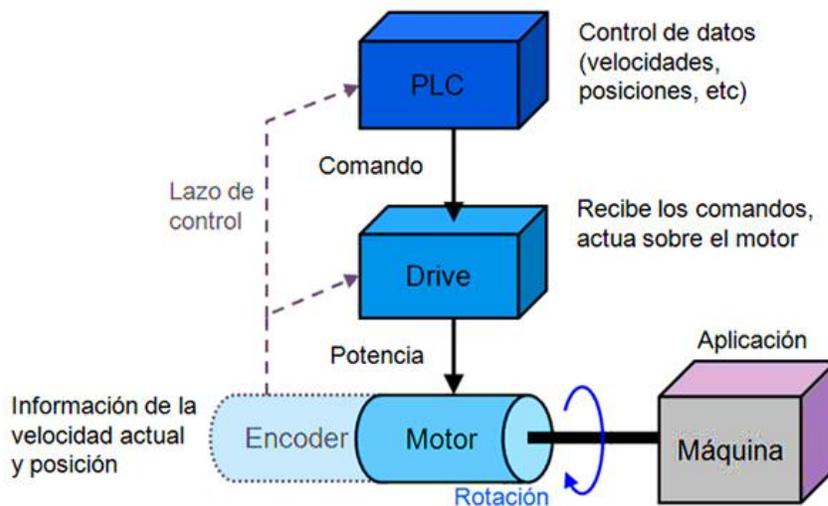


Figura 21 Esquema funcional del PLC, BIT

5.2 Objetivo específico #2 Realizar la implementación en un sistema de medición de Iluminación vs. Longitud

Objetivo específico #3 Determinar la posición óptima para un BIT (PIÑA MD2 – 2440 Lux)

En la solución de estos objetivos específicos se realiza la descripción del sistema de monitoreo para un sistema del biorreactor de inmersión temporal cultivo PIÑA MD2, sabiendo por parámetro que la iluminación óptima para este cultivo es 2440. El diseño de la experimentación el cual está las conexiones de los sensores con la tarjeta Arduino, y los respectivos casos de pruebas de medición de iluminación vs. Longitud.

5.2.1 Descripción del sistema de monitoreo

Primariamente el sistema de inmersión temporal en su funcionamiento era totalmente manual, quiere decir que se realizaba mediante una persona la cual hacía un recorrido y de manera visual iba tomando los datos en una hoja, la persona era la encargada de registrar los datos relevantes de cada uno de los estantes donde se encuentran los recipientes con los explantes a multiplicar, datos como la temperatura, está la tomaban con una pistola infrarrojo que muestra la temperatura del medio, un luxómetro que muestra la cantidad de luz que está en el medio, y mediante los conocimientos del operador observaba la naturaleza de los explantes, demorándose aproximadamente 10 minutos o más por estante. Siendo este tiempo muy largo según las inspecciones que le tocaba realizar. Y demorando así el proceso ya que todos los lotes no tenían las óptimas condiciones de crecimiento.

En esta falla nos basamos para dar nuestro aporte en el sistema de inmersión temporal, ya que hacía falta tener mayor rapidez al momento de pasar la información a los expertos para su posterior análisis, de aquí es donde se da la descripción de nuestro diseño e implementación del sistema de monitoreo.

El sistema de monitoreo está basado en la programación de dos softwares, y el Acoplamiento de una cámara, un sensor ultrasónico, un sensor de temperatura infrarrojo, y un sensor de intensidad luminosa. Los cuales fueron programados según las necesidades que se presentaron en el laboratorio del centro de Bioplantillas de la Universidad de Ciego de Ávila. Necesidades en las cuales se veían afectadas la multiplicación de explantes, y el consumo de energía debido a la falta de rapidez con la que se venía manejando la inspección de los sistemas ya que no se cuenta con el personal necesario para actuar con dicha rapidez, y esto se veía reflejado en la pérdida de lotes de la multiplicación de explantes y por ende la pérdida de material con la que se mezclaban cada uno de los recipientes de materia prima en el laboratorio. Dando pérdidas materiales y éstas van en directa relación con las

perdidas monetarias. Siendo estas significativas al momento de ser acumuladas durante los periodos de tiempo de la producción.

Al analizar algunas de las fallas en el proceso del laboratorio se tomaron algunas medidas para contribuir a la reducción de las pérdidas de lotes de explantes y por consiguiente a las pérdidas energéticas.

Este es el comienzo de una investigación que es muy abarcadora y ambiciosa, debido a la complejidad de este método, que es el de biorreactores por inmersión temporal. El cual el centro de Bioplantas tiene la patente.

Actualmente está en proceso de estudio y de valoración técnica el sistema de monitoreo para llevar a cabo la multiplicación del sistema en otras zonas del laboratorio. Y así poder recomendarlo en laboratorios que cuenten con este tipo de método de inmersión temporal.

5.2.2 Diseño de la experimentación

Para la experimentación se utilizó el software Python-2.7.6, y el Arduino 1.6.3, los cuales se encuentran instalados en la laptop Core I5, 8Gb de RAM, Marca Asus x450c. Figura 22 Conexiones a la tarjeta Arduino

Los sensores fueron conectados a la plataforma electrónica open source a microcontrolador, tarjeta modelo Arduino UNO R3, y se colocaron en la muñeca de un BRAZO ROBOT. Figura 23 Conexión de los sensores a la tarjeta Arduino.

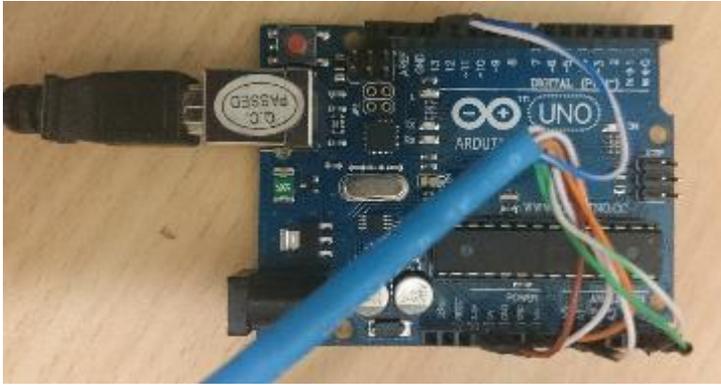


Figura 22 Conexiones a la tarjeta Arduino

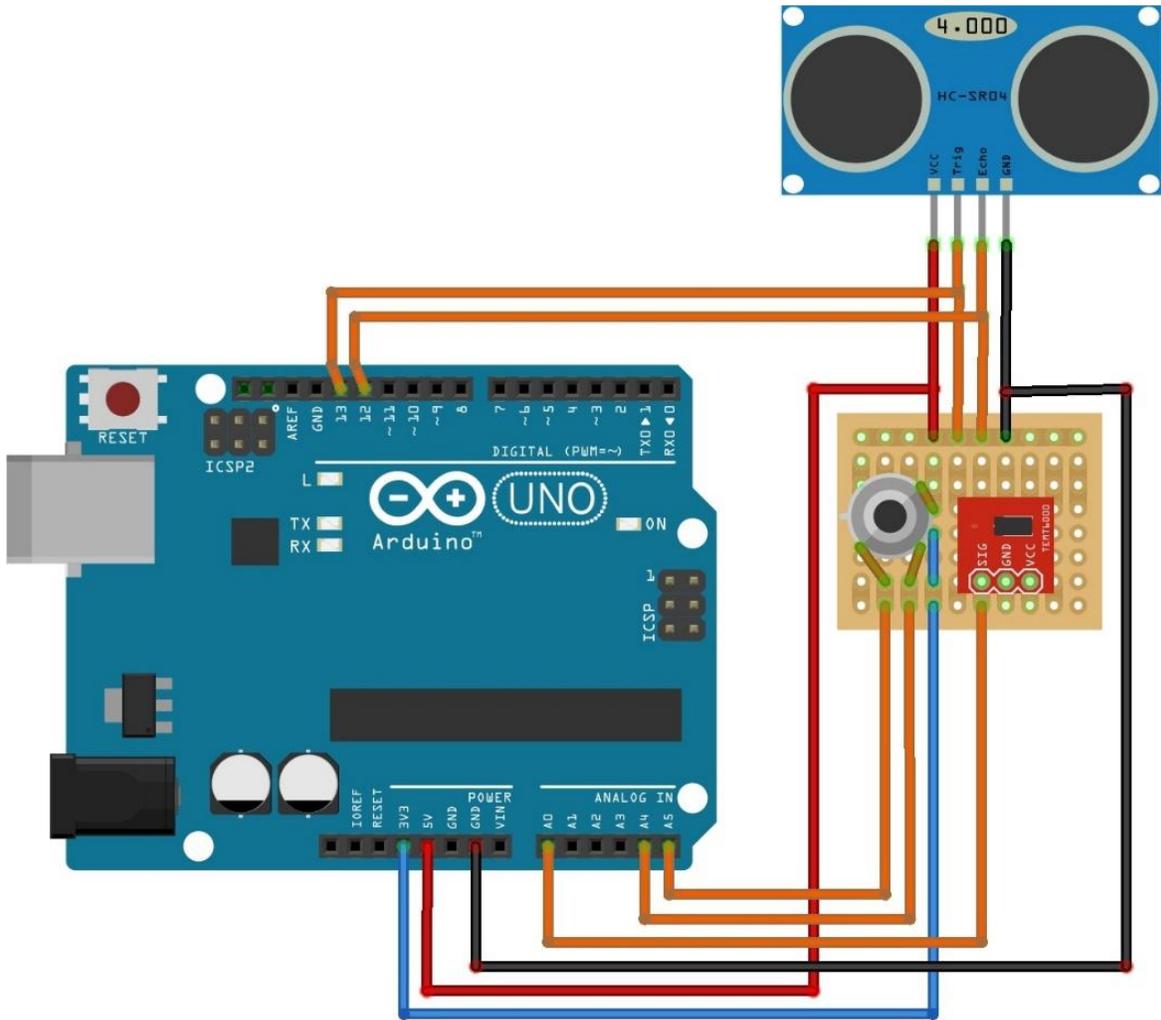


Figura 23 Conexión de los sensores a la tarjeta Arduino

El Tablero Central de Control (TCC), está compuesto por una placa ARDUINO UNO, la cual consta de 14 entradas, 8 salidas digitales, 4 entradas analógicas, alimentación de 5VDC y comunicación serie con el PC. A este TCC, se le conectan, los sensores de Temperatura, Distancia. Figura 24 Tablero Central de Control (TCC)

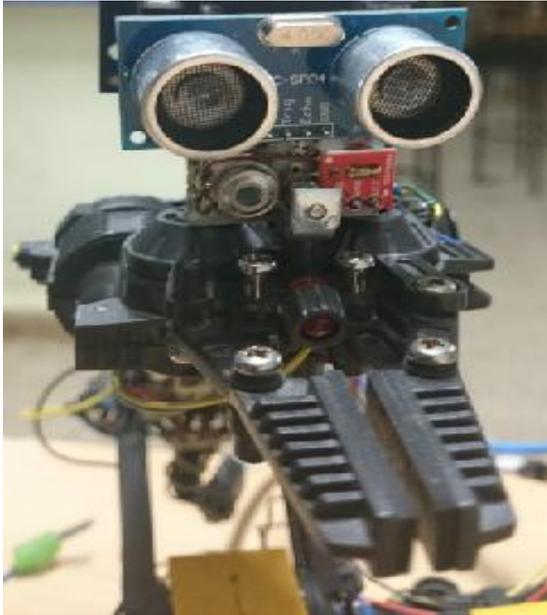


Figura 24 Tablero Central de Control (TCC)

La programación de la ARDUINO UNO, se realiza en tres módulos fundamentales:

Medición de Distancia.

Medición de Temperatura.

Medición de Lux.

5.2.3 Casos de pruebas

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en el sistema de monitoreo desarrollado, los procedimientos, las técnicas y criterios empleados en la obtención de cada uno de los resultados, así como la corrección y validación de los resultados obtenidos mediante las referencias con otros autores en Cuba y el Mundo.

Para validar los resultados de la investigación en el centro de bioplantitas en Cuba, se hace necesario realizar experimentos de prueba que nos den como resultado el cumplimiento de nuestra hipótesis, de manera que para ello se propone tres casos de prueba.

Los biorreactores de inmersión temporal en la Biofabrica de un cultivo de PIÑA MD2, la Biofabrica costa de 10 estantes, cada estante es de tres pisos, y cada piso está dividido en dos secciones. Figura 26 Distribución de una sección de nivel. Los biorreactores se encuentran expuestos a la luz que generan luminarias, el cual se encuentra colocadas en cada nivel y sección correspondiente. Figura 25 Estante de los depósitos de explantes



Figura 25 Estante de los depósitos de explantes

Cada sección de piso consta de cuatro (4) luminarias de luz fría blanca, con cuatro (4) lámparas cada una, ósea, dieciséis (16) lámparas en cada piso, cada lámpara tiene un consumo de cuarenta (40) watts cada una, lo cual suman seiscientos cuarenta (640) watts por hora un solo piso; el patrón luminoso de cada luminaria

hace que la mayor cantidad de luz se aplique a la parte central de la base en la cual se encuentran los frascos de los Biorreactores de Inmersión Temporal, correspondiendo a la mayor posibilidad de que el material vegetal utilice esta cantidad de fotones para realizar la fotosíntesis en la fabricación de su alimentación.

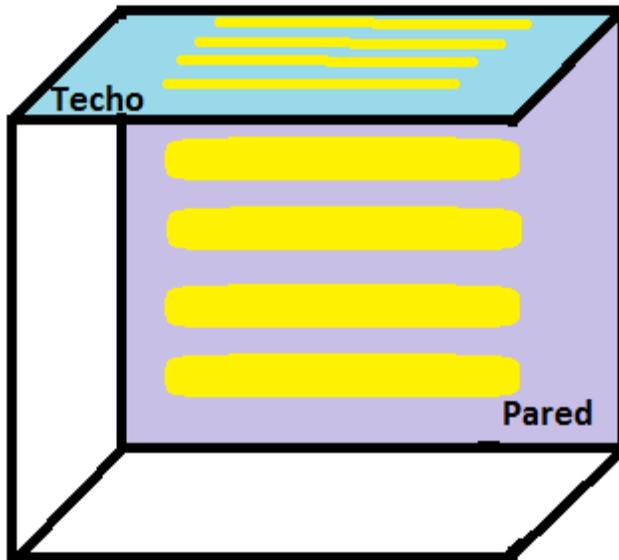


Figura 26 Distribución de una sección de nivel BIT

Análisis:

En el centro de Bioplantitas, en la Biofabrica una práctica común ya sea por descuido o indisciplina tecnológica, es en la distribución de los frascos, ya que no se ubican los frascos en parte donde existe mayor incidencia de luz, por lo tanto, se deja de aprovechar o se gasta parte de la energía eléctrica que se ha consumido.

En una Biofabrica el principal gasto energético es en la iluminación de los Sistemas de inmersión Temporal. Por ejemplo, haciendo un análisis en esta Biofabrica de un cultivo de PIÑA MD2 que tenga en sus instalaciones una cantidad de 10 estantes para Biorreactores de Inmersión temporal, con un desaprovechamiento de la energía producto a la mala colocación de los frascos en cinco (5) porciento, en diez (10) porciento, en quince (15) porciento, sabiendo que, el cultivo de PIÑA MD2 en el día solo necesita dieciséis (16) horas de iluminación en el día, en el año solo se

puede realizar seis (6) multiplicación de PIÑAS MD2, cada multiplicación de cuarenta y cinco (45) días, lo cual nos da doscientas setenta (270) días trabajados en la Biofabrica en la multiplicación del cultivo de PIÑA MD2.

5.2.3.1 Caso de prueba I medición de distancia de los frascos con respecto a la iluminación

Para este caso de prueba, colocamos un frasco de cristal de los que se utilizan en los Sistemas de Inmersión Temporal y frente a ellos situamos los sensores con el objetivo de sensar el nivel de luminancia que recibe el frasco con respecto a la distancia de la lámpara, para esto se utilizó el Sensor infrarrojo MLX90614.

En un sistema de inmersión temporal los frascos de cristal se encuentran iluminado por 8 lámparas en total, el sensor se ubicaba a 9 diferentes distancias respecto a las lámparas, tomando de cada distancia 50 muestras. Figura 27 Distribución de lámparas y distancias de medición

Distancias tomadas: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40.

5.2.3.1.1 Medición para lámparas fluorescente

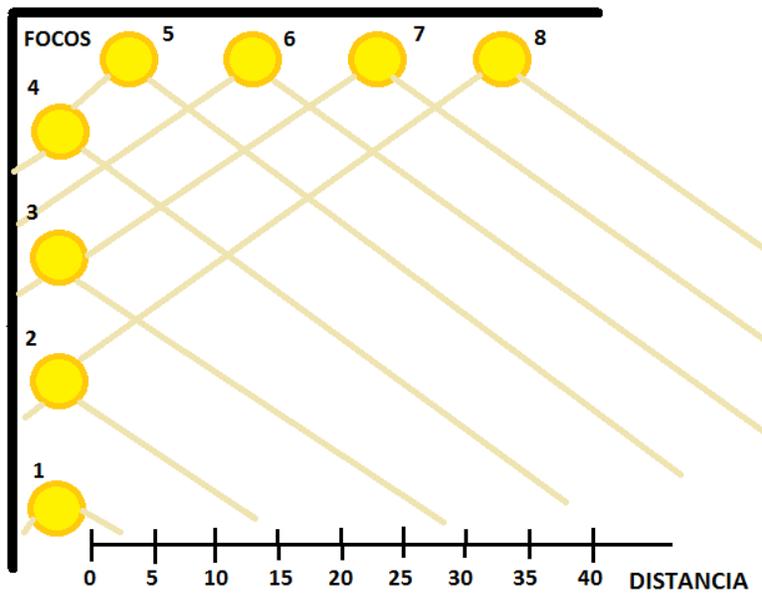


Figura 27 Distribución de lámparas y distancias de medición

A continuación, se muestran las medidas tomadas por el sensor a diferentes distancias.

	Lux	Ev	Desv	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	2448,48	9793,94	1,38	2448,68	2446,24	2448,68	2448,68	2451,12	2448,68	2448,68	2451,12	2451,12	2446,24	2448,68
5	2444,18	9776,73	1,67	2443,79	2443,79	2443,79	2446,24	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2446,24
10	2444,82	9779,28	1,65	2446,24	2446,24	2446,24	2443,79	2446,24	2443,79	2443,79	2446,24	2446,24	2443,79	2446,24
15	2444,04	9776,14	1,58	2443,79	2443,79	2441,35	2443,79	2446,24	2443,79	2443,79	2441,35	2443,79	2443,79	2448,68
20	2437,20	9748,79	1,87	2436,46	2436,46	2434,02	2436,46	2436,46	2434,02	2436,46	2434,02	2436,46	2436,46	2436,46
25	2437,49	9749,96	1,65	2438,91	2438,91	2436,46	2436,46	2436,46	2438,91	2436,46	2438,91	2438,91	2436,46	2436,46
30	2436,71	9746,83	1,87	2436,46	2438,91	2436,46	2438,91	2436,46	2434,02	2438,91	2436,46	2438,91	2436,46	2431,57
35	2432,06	9728,24	1,31	2431,57	2431,57	2431,57	2431,57	2434,02	2431,57	2431,57	2431,57	2434,02	2431,57	2431,57
40	2430,40	9721,60	1,80	2431,57	2426,69	2434,02	2429,13	2431,57	2431,57	2429,13	2431,57	2429,13	2429,13	2429,13

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2451,12	2448,68	2451,12	2448,68	2446,24	2448,68	2448,68	2446,24	2448,68	2446,24	2448,68	2448,68	2446,24	2448,68
2443,79	2443,79	2441,35	2443,79	2443,79	2441,35	2441,35	2443,79	2446,24	2446,24	2443,79	2443,79	2441,35	2446,24
2446,24	2441,35	2443,79	2446,24	2443,79	2446,24	2441,35	2446,24	2446,24	2446,24	2443,79	2446,24	2443,79	2443,79
2443,79	2441,35	2443,79	2446,24	2443,79	2443,79	2448,68	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2446,24
2438,91	2438,91	2438,91	2438,91	2434,02	2438,91	2438,91	2436,46	2438,91	2434,02	2436,46	2438,91	2434,02	2438,91
2436,46	2441,35	2438,91	2436,46	2438,91	2438,91	2436,46	2436,46	2436,46	2438,91	2436,46	2438,91	2438,91	2436,46
2436,46	2438,91	2434,02	2436,46	2436,46	2434,02	2438,91	2434,02	2436,46	2436,46	2436,46	2438,91	2434,02	2438,91
2431,57	2434,02	2431,57	2431,57	2431,57	2431,57	2431,57	2434,02	2431,57	2434,02	2431,57	2431,57	2429,13	2434,02
2431,57	2429,13	2431,57	2429,13	2431,57	2431,57	2429,13	2431,57	2429,13	2434,02	2429,13	2434,02	2429,13	2429,13

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2448,68	2448,68	2448,68	2448,68	2448,68	2448,68	2446,24	2446,24	2448,68	2448,68	2448,68	2448,68	2448,68	2448,68
2441,35	2446,24	2446,24	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2446,24	2446,24	2441,35	2443,79	2446,24	2446,24	2443,79
2446,24	2446,24	2443,79	2446,24	2446,24	2441,35	2443,79	2446,24	2443,79	2446,24	2441,35	2443,79	2446,24	2443,79

2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2443,79	2441,35	2443,79	2441,35	2443,79	2443,79	2446,24
2436,46	2436,46	2438,91	2436,46	2436,46	2438,91	2438,91	2434,02	2438,91	2438,91	2438,91	2438,91	2434,02	2436,46
2436,46	2436,46	2441,35	2438,91	2436,46	2436,46	2438,91	2434,02	2438,91	2438,91	2436,46	2438,91	2436,46	2436,46
2438,91	2438,91	2436,46	2434,02	2436,46	2436,46	2438,91	2436,46	2436,46	2436,46	2434,02	2438,91	2434,02	2438,91
2431,57	2434,02	2431,57	2434,02	2431,57	2434,02	2429,13	2434,02	2431,57	2434,02	2431,57	2434,02	2431,57	2431,57
2431,57	2429,13	2431,57	2431,57	2426,69	2431,57	2429,13	2431,57	2431,57	2426,69	2431,57	2429,13	2431,57	2429,13

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
2446,24	2446,24	2448,68	2448,68	2451,12	2448,68	2448,68	2448,68	2448,68	2448,68	2448,68
2443,79	2441,35	2446,24	2441,35	2446,24	2446,24	2443,79	2443,79	2443,79	2446,24	2446,24
2443,79	2443,79	2441,35	2446,24	2446,24	2443,79	2443,79	2446,24	2446,24	2446,24	2443,79
2443,79	2443,79	2441,35	2443,79	2443,79	2446,24	2446,24	2446,24	2443,79	2443,79	2443,79
2438,91	2436,46	2441,35	2438,91	2436,46	2438,91	2436,46	2436,46	2438,91	2438,91	2436,46
2436,46	2441,35	2436,46	2436,46	2436,46	2434,02	2436,46	2436,46	2438,91	2436,46	2436,46
2436,46	2438,91	2438,91	2436,46	2438,91	2436,46	2436,46	2436,46	2434,02	2436,46	2436,46
2431,57	2431,57	2431,57	2431,57	2431,57	2429,13	2431,57	2431,57	2431,57	2431,57	2434,02
2429,13	2431,57	2429,13	2431,57	2429,13	2429,13	2431,57	2429,13	2434,02	2431,57	2429,13

Tabla 4 Data Nivel de iluminancia Vs. Distancia foco

Nivel de Iluminancia Vs. Distancia del foco

Distancia	Lux	Desviación
0	2448,48	1,38
5	2444,18	1,67
10	2444,82	1,65
15	2444,04	1,58
20	2437,20	1,87
25	2437,49	1,65
30	2436,71	1,87
35	2432,06	1,31
40	2430,40	1,80

Tabla 5 Promedio nivel de iluminancia y desviación a diferentes distancias

Grafica que muestra la iluminancia contra la distancia de la lámpara.

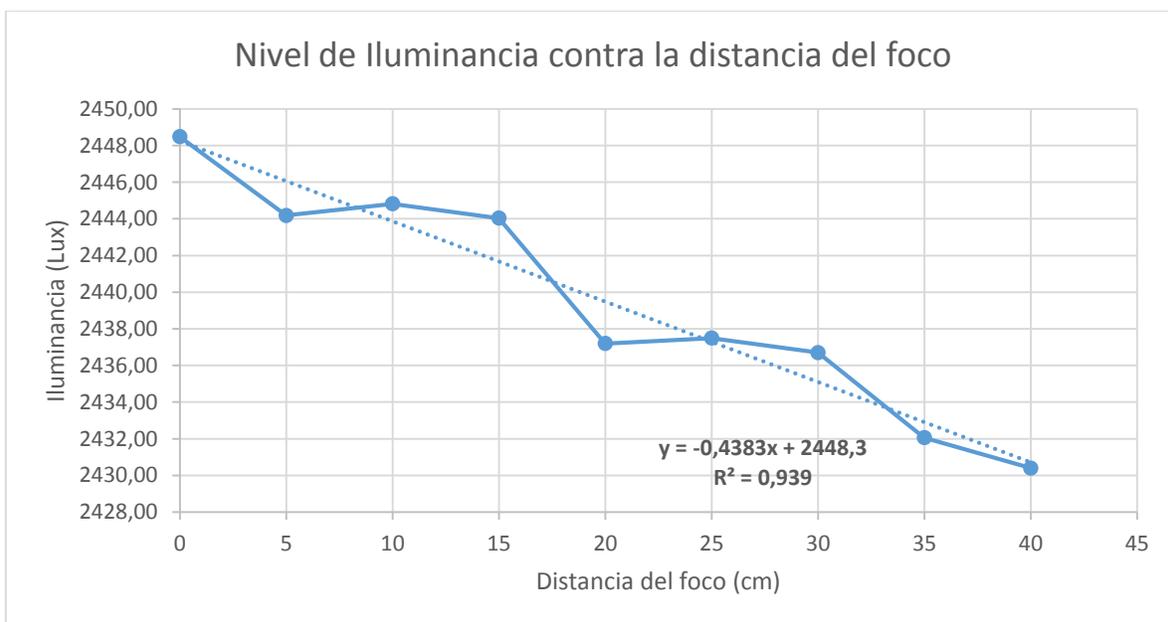


Figura 28 Nivel de iluminancia VS. Distancia foco

Análisis:

1. En el comportamiento de la gráfica se puede analizar que es inversamente proporcional la relación iluminación con distancia, ósea, a medida que la distancia aumenta, la iluminancia disminuye.

$$E = \frac{I}{D^2}$$

Ecuación 7

Donde E es el nivel de iluminancia, y D es la distancia, aumentando cuadráticamente.

E= 2448 lux

2. A medida que se encuentra a mayor distancia, se cae el nivel de iluminancia por efecto cuadrático inverso, por la diferencia 2.
3. Todos los focos tienen la misma intensidad de iluminancia, pero le influye la distancia y el Angulo a la que se encuentre el biorreactor.
4. La distancia idónea para instalar el biorreactor es entre 15-20 cm de distancia de las lámparas, para que sus fases de desarrollo y multiplicación sea óptima. Figura 29 Distancia idónea para el BIT. Ya que el rango de iluminación en promedio sería de 2440.5 lux que absorbe los explantes en un biorreactor de inmersión temporal.

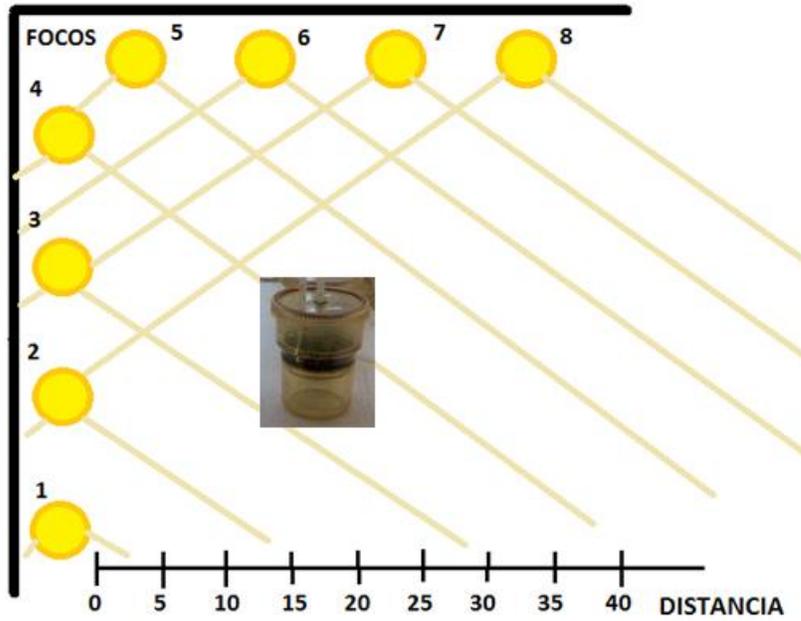


Figura 29 Distancia idónea para el BIT

5.2.3.1.2 Medición para lámparas tipo led

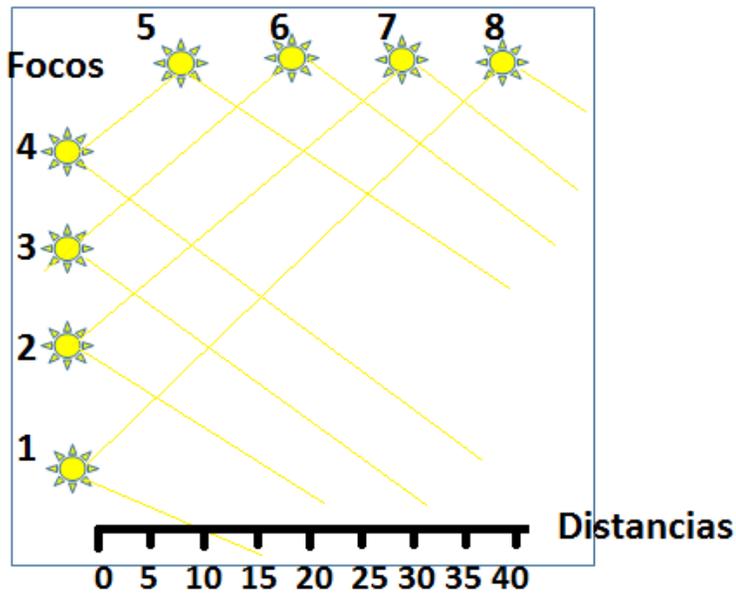


Figura 30 Distancia vs. lámparas led

A continuación, se muestran las medidas tomadas por el sensor a diferentes distancias.

Iluminación

Distancia	Lámpara Led
0	2450,3
5	2448,1
10	2444,7
15	2444,5
20	2440,3
25	2441,1
30	2439,5
35	2437,5
40	2433,7

Tabla 6 Distancia vs. lámparas led

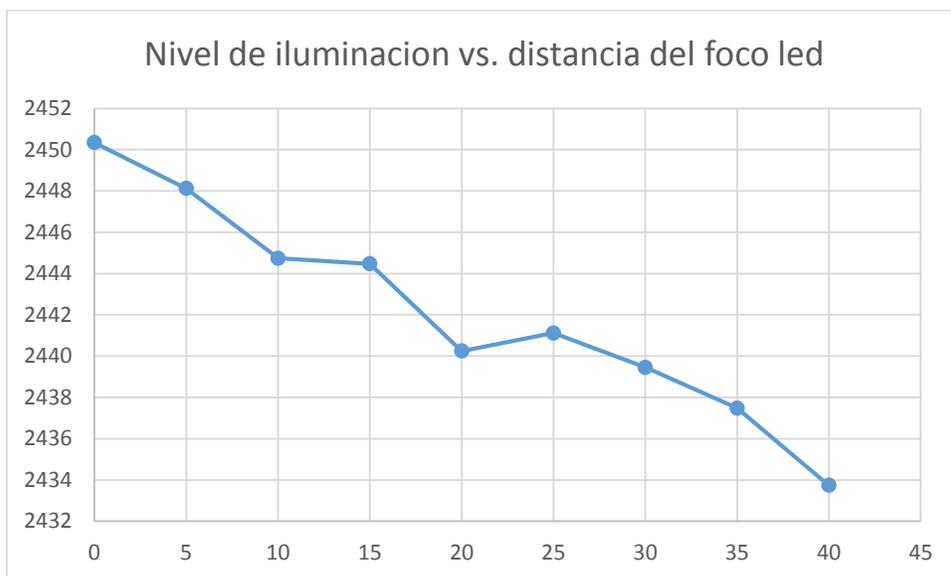


Figura 31 Nivel de iluminación vs. distancia del foco led

Análisis:

La distancia idónea para instalar el biorreactor es en 20 cm de distancia de las lámparas, para que sus fases de desarrollo y multiplicación sea óptima. Ya que el rango de iluminación en promedio seria de 2440.5 lux que absorbe los explantes en

un biorreactor de inmersión temporal. **Figura 31 Nivel de iluminación vs. distancia del foco led**

5.2.3.1.3 Comparación de medición de iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Distancia.

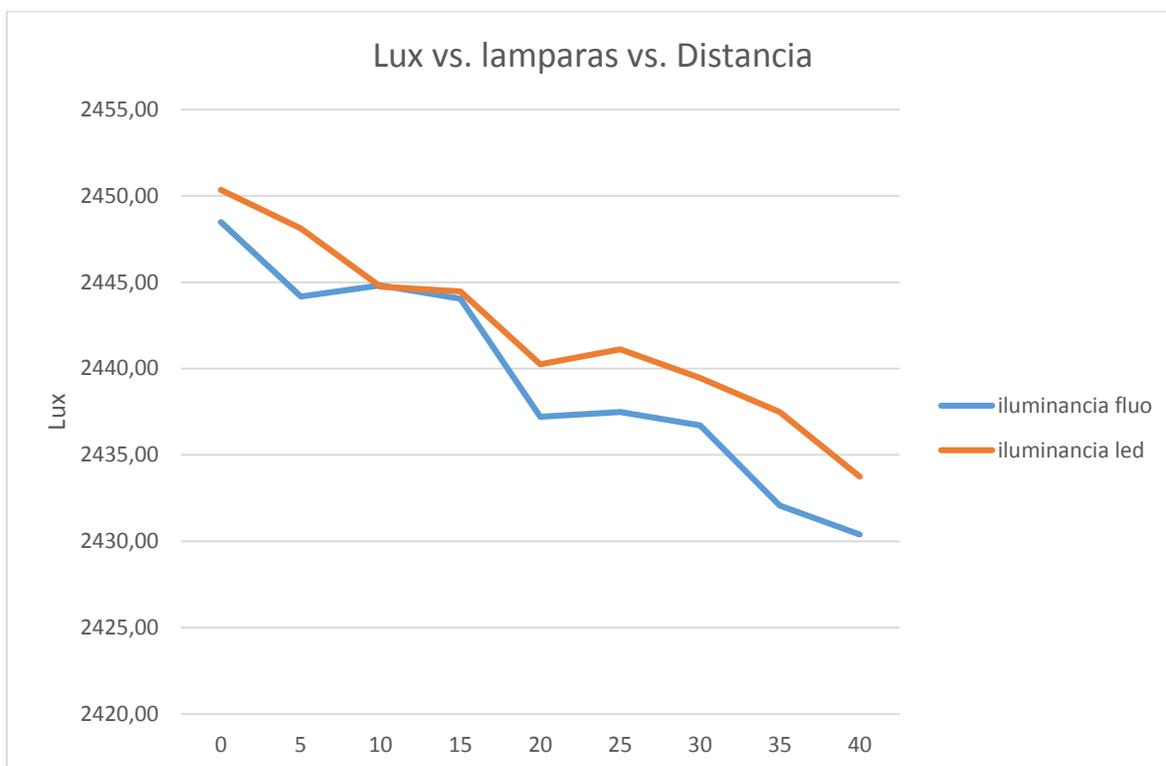


Figura 32 Comparación de medición de iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Distancia.

	Iluminancia	
Distancia	L. fluorescente	L. led
0	2448,48	2450,3
5	2444,18	2448,1
10	2444,82	2444,7
15	2444,04	2444,5

20	2437,20	2440,3
25	2437,49	2441,1
30	2436,71	2439,5
35	2432,06	2437,5
40	2430,40	2433,7

Tabla 7 Comparación de medición de iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Distancia.

Análisis:

Comparando en los dos distintos tipos de lámparas para una iluminación idónea, la distancia idónea para instalar el biorreactor en la lámpara tipo fluorescente es entre 15-20 cm de distancia de las lámparas, y en las lámparas tipo led es de 20 cm de distancia, para que sus fases de desarrollo y multiplicación sea óptima. Ya que el rango de iluminación en promedio sería de 2440.5 lux que absorbe los explantes en un biorreactor de inmersión temporal. **Tabla 7 Comparación de medición de iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Distancia.**

5.2.3.2 Caso de prueba II medición de la distancia óptima de los frascos con respecto a la Temperatura emitida por las distintas lámparas.

Para este caso de prueba, colocamos un frasco de cristal de los que se utilizan en los Sistemas de Inmersión Temporal y frente a ellos situamos al ROBOT OWI 535 en el cual el sensor infrarrojo MLX90614 pudiera detectar la temperatura a la cual se encontraban el frasco. **Tabla 8 Temperatura vs. Lámparas** En la distancia óptima anteriormente hallada en el caso I, las temperaturas medidas por el sensor fueron efectuadas entre 15 – 20 cm de distancia de las lámparas de iluminación con respecto al biorreactor de inmersión temporal, estas medidas se efectuaron para los dos tipos de lámparas, el cual con la fluorescente que es con la que trabajan las Biofabrica tiene un consumo extra de energía eléctrica ya que necesita de tener el

aire acondicionado o un sistema de enfriamiento para el laboratorio para que se efectuó las multiplicaciones. Al comparar el calor emitido con las lámparas led, se observa claramente que se diferencia por un grado de temperatura por debajo a la lámpara de fluorescencia. **Figura 33 Temperatura vs. Lámparas**

TEMPERATURA °C	
FLUORECENTE	LED
36,5	35,4
36,6	35,5
36,5	35,6
36,6	35,5
36,6	35,6
36,5	35,5
36,6	35,4
36,6	35,5
36,6	35,5
36,5	35,4

Tabla 8 Temperatura vs. Lámparas

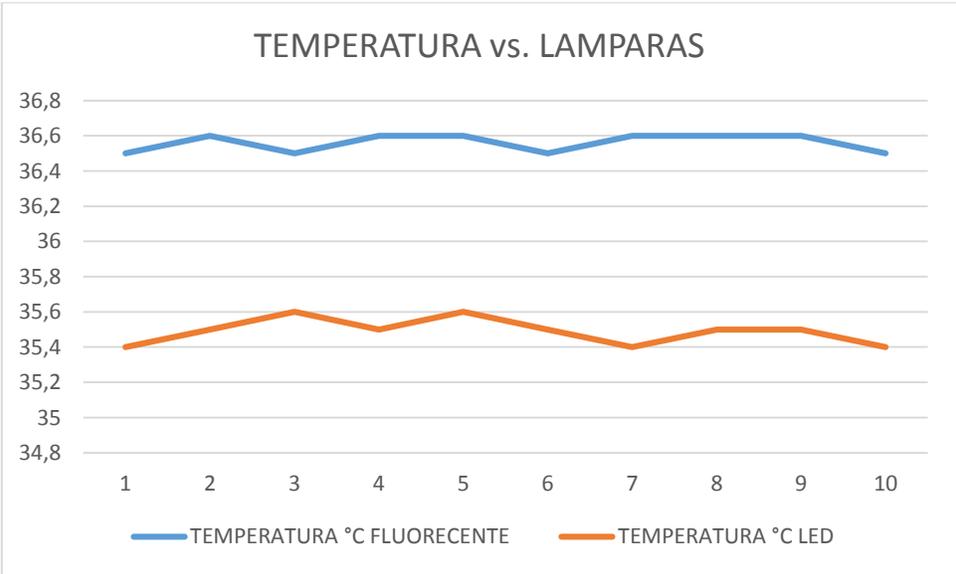


Figura 33 Temperatura vs. Lámparas

5.2.3.3 Caso de prueba III medición de Iluminación de los frascos con respecto al número de lámparas

Para este caso de prueba, colocamos un frasco de cristal de los que se utilizan en los Sistemas de Inmersión Temporal y frente a ellos situamos al ROBOT OWI 535 con el objetivo que realizara un paneo en el cual el Sensor MLX90614 pudiera detectar la intensidad a la cual se encontraban expuestos los frascos.

En un sistema de inmersión temporal los frascos de cristal se encuentran iluminado por 8 lámparas en total, el cual se ira encendiendo progresivamente y con ayuda del sensor detectara la intensidad lumínica, tomando 60 muestras.

A continuación, se mostrará el patrón de encendido de las lámparas, el cual el sensor detectará la intensidad lumínica.

Lámparas/ encendido								
1	■							
2	■	■						
3	■	■	■					
4	■	■	■	■				
5	■	■	■	■	■			
6	■	■	■	■	■	■		
7	■	■	■	■	■	■	■	
8	■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 34 Nivel de luminancia Vs. Numero de lámparas

5.2.3.3.1 Medición de iluminación en los frascos vs. Numero de lámparas tipo fluorescente

A continuación, se muestran las medidas tomadas por el sensor vs. Numero de lámparas tipo fluorescentes con el patrón de experimento anteriormente explicado.

	Lux	Ev	Desv	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	135,794	543,177	6,2734	141,74	144,18	141,74	141,74	139,3	139,3	136,85	134,41	131,96	129,52	129,52
1	336,511	1346,04	14,6367	349,46	320,14	332,36	349,46	312,81	347,02	337,24	317,69	351,91	317,69	339,69
2	555,556	2222,22	33,5794	540,08	515,64	576,74	598,73	527,86	527,86	598,73	579,18	520,53	535,19	603,62
3	1057,23	4228,9	67,0208	1011,73	967,74	1107,04	1138,81	997,07	982,4	1131,48	1099,71	972,63	1019,06	1146,14
4	1506,76	6027,04	108,984	1654,45	1444,28	1436,95	1678,89	1395,41	1478,49	1632,45	1407,62	1566,47	1554,25	1329,42
5	2338,26	9353,05	53,4895	2277,61	2328,93	2394,92	2309,38	2348,48	2394,92	2258,06	2355,82	2387,59	2294,72	2370,48
6	2427,38	9709,52	1,85983	2426,69	2424,24	2429,13	2429,13	2426,69	2424,24	2429,13	2429,13	2424,24	2426,69	2429,13
7	2439,8	9759,22	1,18575	2438,91	2441,35	2438,91	2441,35	2438,91	2438,91	2441,35	2441,35	2438,91	2441,35	2438,91
8	2437,24	9748,95	1,77258	2436,46	2436,46	2434,02	2436,46	2436,46	2434,02	2436,46	2434,02	2436,46	2436,46	2436,46

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
129,52	127,08	124,63	122,19	122,19	124,63	127,08	131,96	136,85	139,3	144,18	141,74	144,18	144,18
344,57	312,81	351,91	320,14	339,69	344,57	317,69	351,91	315,25	342,13	332,36	322,58	349,46	312,81
557,18	515,64	559,63	613,39	542,52	518,08	574,29	596,29	525,42	520,53	588,95	581,62	525,42	530,3
1082,6	975,07	1038,61	1158,36	1065,49	967,74	1033,72	1151,03	1070,38	965,3	1031,28	1141,25	1072,83	967,74
1608,02	1505,38	1397,85	1654,45	1451,61	1378,3	1659,34	1436,95	1466,28	1656,89	1348,97	1529,81	1588,47	1397,85
2387,59	2248,29	2375,37	2382,7	2289,83	2385,14	2380,25	2243,4	2387,59	2375,37	2282,5	2390,03	2370,48	2240,96
2426,69	2426,69	2429,13	2429,13	2424,24	2426,69	2429,13	2429,13	2426,69	2426,69	2431,57	2426,69	2424,24	2426,69
2438,91	2441,35	2441,35	2438,91	2441,35	2441,35	2438,91	2438,91	2438,91	2438,91	2441,35	2441,35	2438,91	2438,91
2438,91	2438,91	2438,91	2438,91	2434,02	2438,91	2438,91	2436,46	2438,91	2434,02	2436,46	2438,91	2434,02	2438,91

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
144,18	139,3	139,3	139,3	139,3	139,3	139,3	139,3	139,3	141,74	139,3	136,85	136,85	139,3
349,46	325,02	351,91	315,25	354,35	320,14	351,91	327,47	344,57	342,13	334,8	351,91	322,58	359,24
606,06	569,4	606,06	537,63	510,75	571,85	603,62	530,3	518,08	581,62	586,51	525,42	522,97	596,29
1011,73	1138,81	1014,17	1146,14	1080,16	967,74	1038,61	1155,91	1060,61	979,96	1065,49	1165,69	1036,17	979,96

1590,91	1537,15	1622,68	1490,71	1339,2	1632,45	1458,94	1412,51	1671,55	1419,84	1405,18	1656,89	1429,62	1480,94
2390,03	2372,92	2370,48	2287,39	2397,36	2231,18	2394,92	2294,72	2392,47	2299,61	2365,59	2331,38	2326,49	2363,15
2429,13	2424,24	2429,13	2426,69	2426,69	2429,13	2424,24	2429,13	2426,69	2426,69	2429,13	2426,69	2426,69	2429,13
2438,91	2438,91	2438,91	2441,35	2438,91	2438,91	2438,91	2441,35	2438,91	2438,91	2438,91	2441,35	2441,35	2438,91
2436,46	2436,46	2438,91	2436,46	2436,46	2438,91	2438,91	2434,02	2438,91	2438,91	2438,91	2438,91	2434,02	2436,46

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
139,3	139,3	139,3	139,3	139,3	139,3	139,3	139,3	134,41	134,41	136,85	139,3	139,3	136,85
322,58	356,79	332,36	347,02	347,02	327,47	356,79	317,69	354,35	332,36	342,13	344,57	320,14	349,46
576,74	518,08	527,86	596,29	559,63	513,2	540,08	606,06	554,74	508,31	544,97	598,73	540,08	508,31
1092,38	1153,47	1001,96	992,18	1116,81	1126,59	999,51	1006,84	1133,92	1089,93	982,4	1043,5	1153,47	1063,05
1652	1361,19	1520,04	1598,24	1402,74	1576,25	1551,81	1322,09	1605,57	1512,71	1412,51	1647,12	1456,5	1361,19
2255,62	2380,25	2280,06	2394,92	2226,3	2394,92	2277,61	2397,36	2258,06	2390,03	2316,72	2382,7	2321,6	2336,27
2426,69	2429,13	2426,69	2424,24	2429,13	2426,69	2429,13	2426,69	2426,69	2429,13	2426,69	2426,69	2431,57	2426,69
2438,91	2441,35	2441,35	2438,91	2438,91	2438,91	2441,35	2438,91	2438,91	2441,35	2441,35	2438,91	2438,91	2438,91
2438,91	2436,46	2441,35	2438,91	2436,46	2438,91	2436,46	2436,46	2438,91	2438,91	2438,91	2436,46	2436,46	2436,46
54	55	56	57	58	59	60							
122,19	124,63	127,08	127,08	129,52	129,52	129,52							
312,81	344,57	320,14	351,91	334,8	332,36	359,24							
554,74	520,53	591,4	579,18	515,64	535,19	603,62							
962,85	1146,14	1043,5	962,85	1082,6	1143,69	999,51							
1654,45	1319,65	1593,35	1529,81	1397,85	1617,79	1505,38							
2358,26	2380,25	2324,05	2338,71	2360,7	2253,18	2390,03							
2426,69	2429,13	2424,24	2426,69	2429,13	2426,69	2429,13							
2441,35	2438,91	2438,91	2438,91	2438,91	2441,35	2438,91							
2438,91	2436,46	2438,91	2438,91	2436,46	2436,46	2436,46							

Tabla 9 Nivel de Iluminancia Vs. Nivel de lámparas

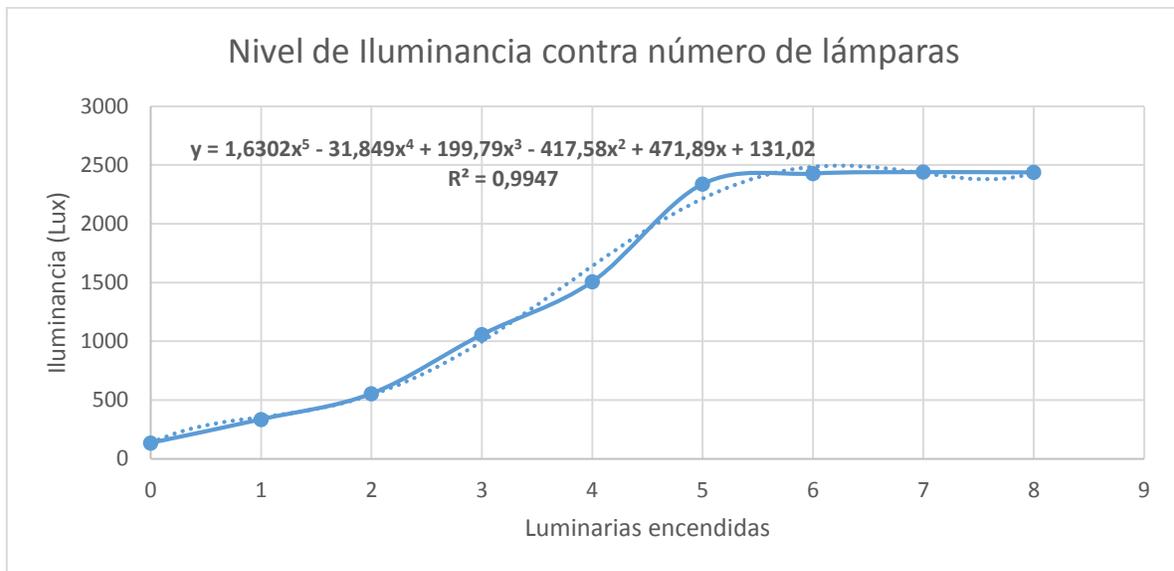


Figura 35 Nivel de iluminancia Vs. Numero de lámparas lámpara fluorescente

Análisis:

Como se puede observar en la **Figura 35 Nivel de iluminancia Vs. Numero de lámparas lámpara fluorescente**, a medida que se van encendiendo el número de lámparas se va incrementando el nivel de luminancia, pero llego un momento en el que por más lámparas que se pongan el nivel de luminancia va a ser el mismo, a partir de sexta (6) lámpara en adelante el consumo es el mismo que tener solo cinco (5), con esto demuestro un ahorro energético, menos lámparas que están consumiendo energía.

5.2.3.3.2 Medición de iluminación en los frascos vs. Numero de lámparas tipo led

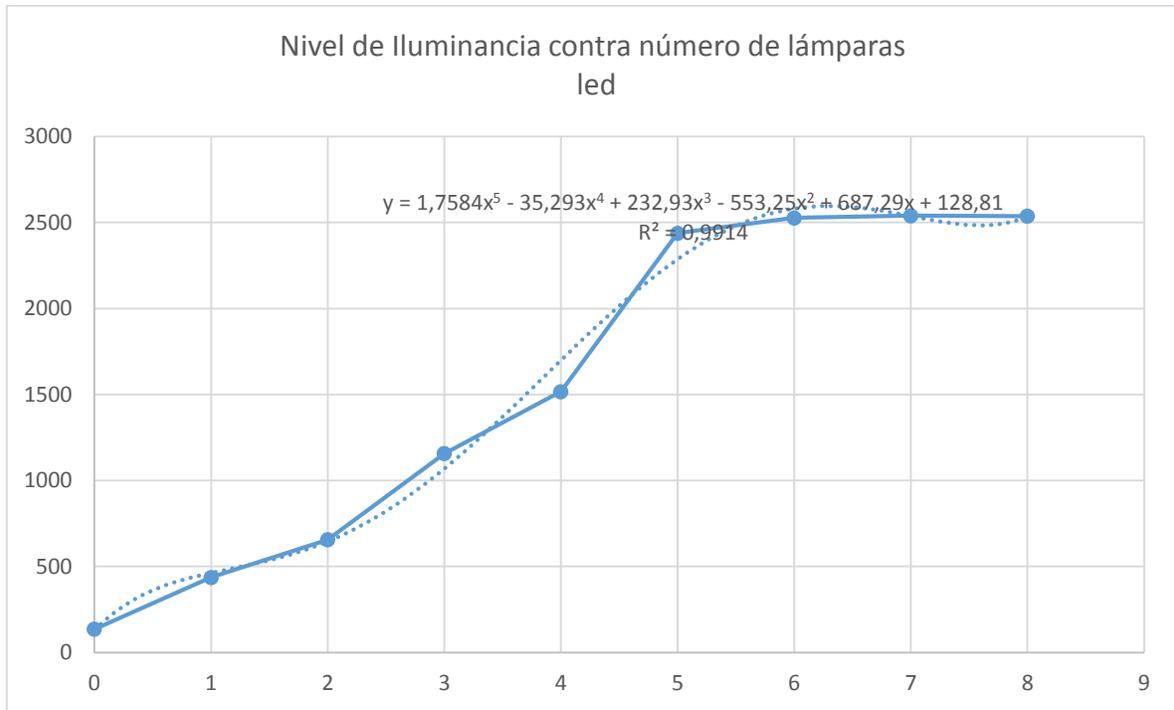


Figura 36 Nivel de iluminancia Vs. Numero de lámparas lámpara led

Lámparas	Lux lámpara Led
0	135,794
1	436,511
2	655,556
3	1157,23
4	1516,76
5	2438,26
6	2527,38
7	2539,8
8	2537,24

Tabla 10 Nivel de iluminancia Vs. Numero de lámparas lámpara led

Análisis:

Como se puede observar en **Figura 36 Nivel de iluminancia Vs. Numero de lámparas lámpara led** a medida que se van encendiendo el número de lámparas se va incrementando el nivel de luminancia, pero luego un momento en el que por más lámparas que se pongan el nivel de luminancia va a ser el mismo, a partir de sexta (6) lámpara en adelante el consumo es el mismo que tener solo cinco (5), con esto demuestro un ahorro energético, menos lámparas que están consumiendo energía.

5.2.3.3.3 Comparación de medición de iluminación de los frascos vs. Numero de lámparas tipo fluorescente y tipo led.

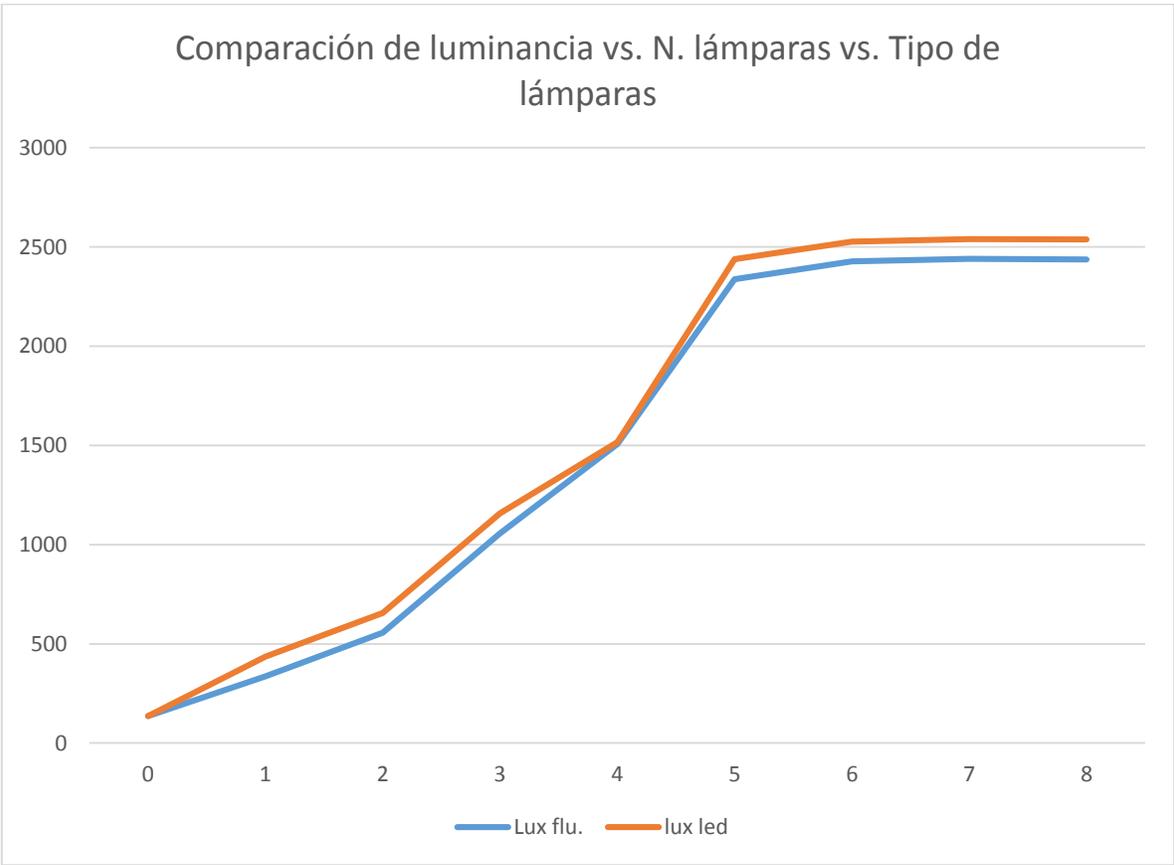


Figura 37 Comparación de luminancia vs. N. lámparas vs. Tipo de lámparas

lámparas	Lux flu.	lux led
0	135,794	135,794

1	336,511	436,511
2	555,556	655,556
3	1057,23	1157,23
4	1506,76	1516,76
5	2338,26	2438,26
6	2427,38	2527,38
7	2439,8	2539,8
8	2437,24	2537,24

Tabla 11 Comparación de luminancia vs. N. lámparas vs. Tipo de lámparas

Análisis:

Como se puede observar **Tabla 11 Comparación de luminancia vs. N. lámparas vs. Tipo de lámparas** a medida que se van encendiendo el número de lámparas se va incrementando el nivel de luminancia, pero llego un momento en el que por más lámparas que se pongan el nivel de luminancia va a ser el mismo, a partir de sexta (6) lámpara tipo fluorescente y cinco (5) para lámpara tipo led con esto demuestro un ahorro energético, menos lámparas que están consumiendo energía para lámparas tipo led.

5.2.3.4 Caso de prueba IV medición de Iluminación de los frascos con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. distancia

Para este caso de prueba, colocamos un frasco de cristal de los que se utilizan en los Sistemas de Inmersión Temporal y frente a ellos situamos los sensores con el objetivo de sensar el nivel de luminancia, de las lámparas tipo led y lámparas tipo fluorescente, que recibe el frasco con respecto a la distancia de las lámparas, para esto se utilizó el Sensor infrarrojo MLX90614.

En un sistema de inmersión temporal los frascos de cristal se encuentran iluminado por 8 lámparas en total, el sensor se ubicaba a 9 diferentes distancias respecto a las lámparas, tomando de cada distancia 50 muestras. Figura 27 Distribución de lámparas y distancias de medición

Distancias tomadas: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40.

Estas diferentes distancias son para dos tipos de lámparas, fluorescentes de 40W y para tipo led de 9W.

A continuación, se muestran las medidas tomadas por el sensor a diferentes distancias vs. Los distintos tipos de lámparas. **Tabla 12 Lux vs. Lámparas vs. Distancia**

Distancia	Iluminancia	
	L. fluorescente	L. led
0	2448,48	2450,3
5	2444,18	2448,1
10	2444,82	2444,7
15	2444,04	2444,5
20	2437,20	2440,3
25	2437,49	2441,1
30	2436,71	2439,5
35	2432,06	2437,5
40	2430,40	2433,7

Tabla 12 Lux vs. Lámparas vs. Distancia

Gráficamente se puede observar los niveles de luminancia de los dos tipos de lámparas a diferentes distancias. **Figura 38 Lux vs. Lámparas vs. Distancia**

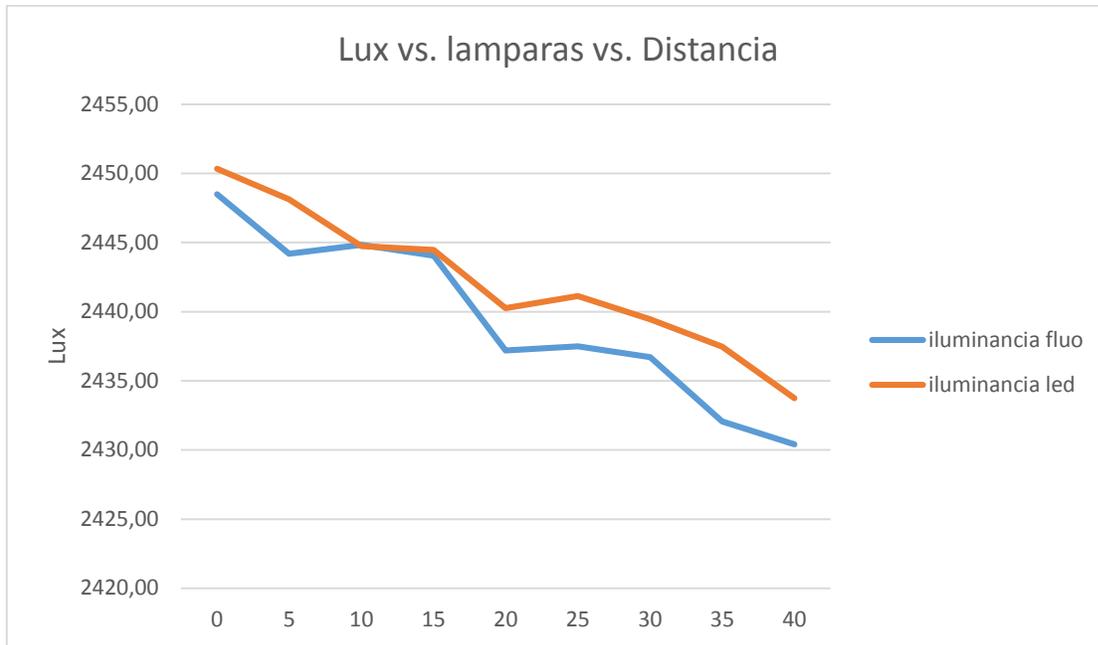


Figura 38 Lux vs. Lámparas vs. Distancia

Análisis:

Para analizar este caso es bueno recordar los casos anteriormente analizados donde la distancia optima es entre 15-20 cm, la iluminación promedio para el tipo de cultivo de PIÑA MD2 es 2440.5, con estos datos y con la gráfica ya planteada. El tipo de lámpara que suple cada uno de los casos es la lámpara tipo led.

5.3 Objetivo específico #4 Comparar el consumo energético en la iluminación en lámparas fluorescentes y lámparas led

En el centro de Bioplantitas, en la Biofabrica una práctica común ya sea por descuido o indisciplina tecnológica, es en la distribución de los frascos, ya que no se ubican los frascos en parte donde existe mayor incidencia de luz, por lo tanto, se deja de aprovechar o se gasta parte de la energía eléctrica que se ha consumido.

En una Biofabrica el principal gasto energético es en la iluminación de los Sistemas de inmersión Temporal. Por ejemplo, haciendo un análisis en esta Biofabrica de un cultivo de PIÑA MD2 que tenga en sus instalaciones una cantidad de 10 estantes

para Biorreactores de Inmersión temporal, con un desaprovechamiento de la energía producto a la mala colocación de los frascos en cinco (5) porciento, en diez (10) porciento, en quince (15) porciento, sabiendo que, el cultivo de PIÑA MD2 en el día solo necesita dieciséis (16) horas de iluminación en el día, en el año solo se puede realizar seis (6) multiplicación de PIÑAS MD2, cada multiplicación de cuarenta y cinco (45) días, lo cual nos da doscientas setenta (270) días trabajados en la Biofabrica en la multiplicación del cultivo de PIÑA MD2. tenemos:

El consumo total de energía eléctrica por concepto de iluminación:

$$1000 * 1280(\text{Wh}) = 1280 (\text{KWh})$$

Por lo tanto:

1. Si se desaprovecha un 5 %, las pérdidas por este concepto serian de 64 KW*h; que en un año sería: 560640 KW*año.
2. Si se desaprovecha un 10 %, las pérdidas por este concepto serian de: 128 KW*h; que en un año sería: 1121280 KW*año.
3. Si se desaprovecha un 15%, las pérdidas por este concepto serian de: 192 KW*h; que en un año sería: 1681920 KW*año

consumo (Kw*H)fluorescente	% perdidas	perdida (KW*h)	perdida (MW*año)
1920	5	96	622080
	10	192	1244160
	15	288	1866240

Tabla 13 Perdidas por hora y en año lámpara fluourescente

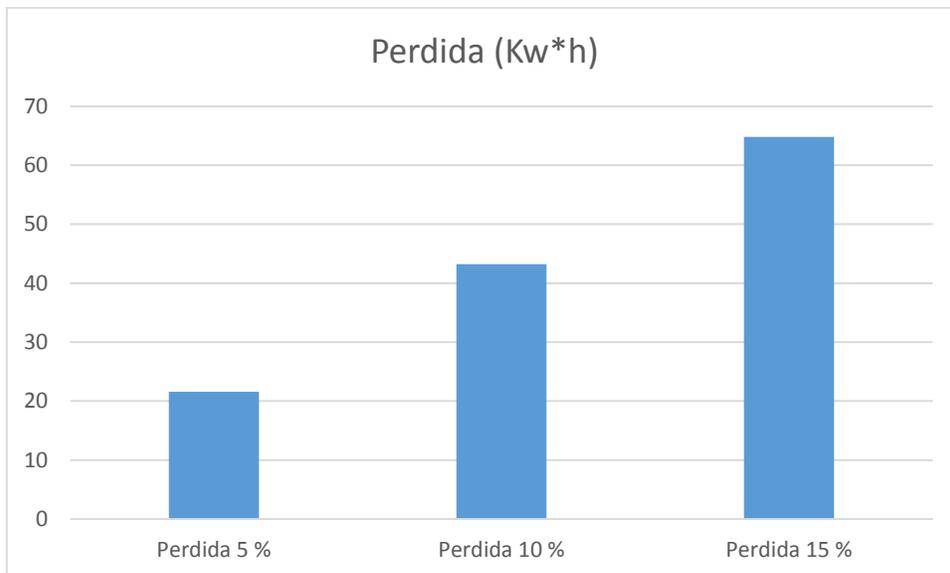


Figura 39 Perdidas en una hora lámpara fluorescente

El anterior análisis realizados fue para las lámparas fluorescentes, a continuación, se presenta el análisis para lámparas tipo led.

consumo (Kw*H) Led	% perdidas	perdida (KW*h)	perdida (MW*año)
432	5	21,6	139968
	10	43,2	279936
	15	64,8	419904

Tabla 14 Perdidas en una hora lámpara led

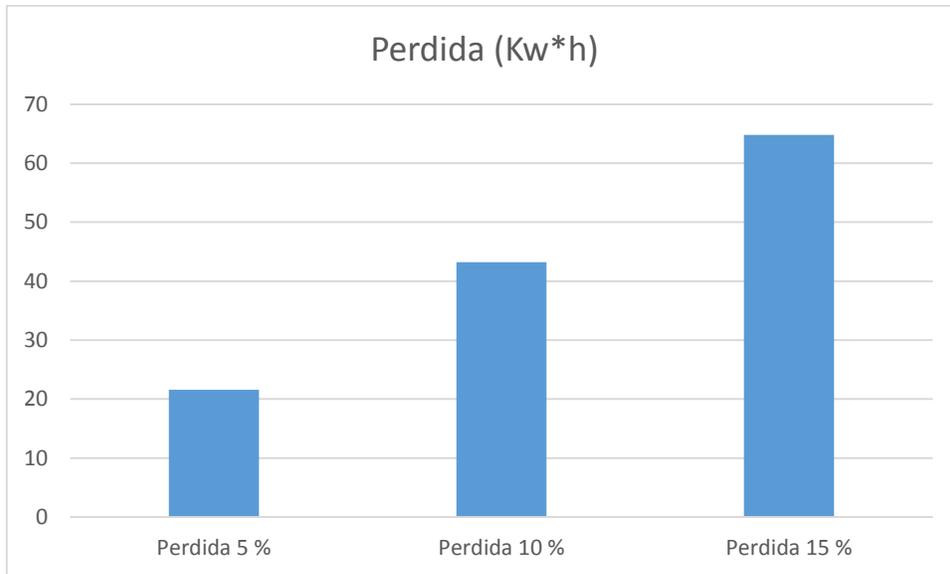


Figura 40 Perdidas en una hora lámpara led

Comparación de las pérdidas de consumo energético de los dos tipos de lámparas.

	Perdida (Kw*h) Led	perdida (KW*h) Fluorescente
Perdida 5 %	21,6	96
Perdida 10 %	43,2	192
Perdida 15 %	64,8	288

Tabla 15 Comparación de pérdidas en una hora lámpara fluorescente y lámpara led

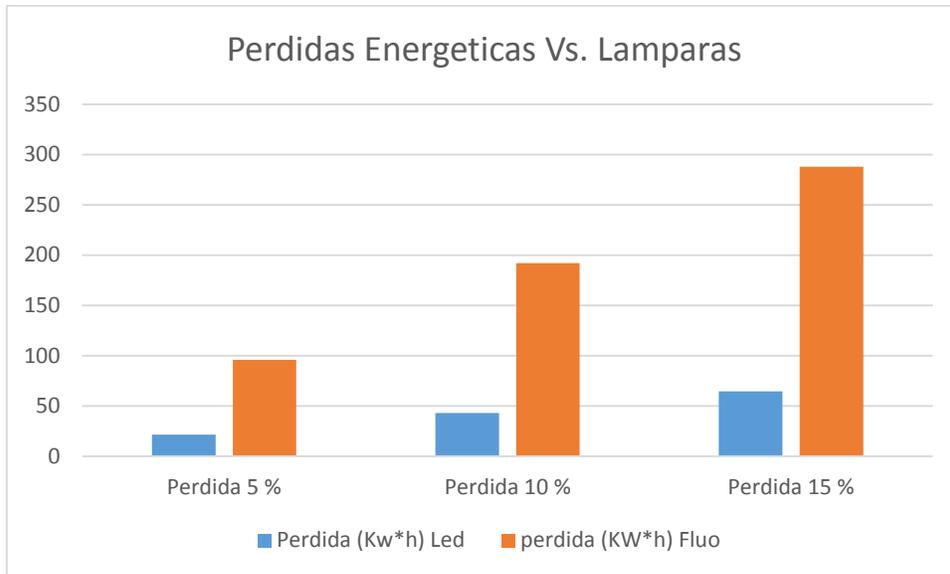


Figura 41 Comparación de pérdidas en una hora lámpara fluorescente y lámpara led

Para este objetivo se realizaron otros casos de pruebas donde se mide el consumo energético, como se muestra a continuación.

5.3.1 Caso de prueba V medición de consumo energético en el estante con respecto a los distintos tipos de lámparas vs. Cantidad de lámparas

Para este caso de prueba, colocamos un frasco de cristal de los que se utilizan en los Sistemas de Inmersión Temporal y frente a ellos situamos los sensores con el fin de conocer el consumo energético en los estantes en los dos tipos de lámparas respecto a la cantidad de ellas.

A continuación, se muestran los consumos energéticos que los diferentes tipos de lámparas, con diferente cantidad de lámparas.

N. lámparas	Consumo Energético (W)	
	Fluorescente	Led
0	0	0

1	40	9
2	80	18
3	120	27
4	160	36
5	200	45
6	240	54
7	280	63
8	320	72

Tabla 16 Consumo E. vs. Lámparas vs. N. Lámparas

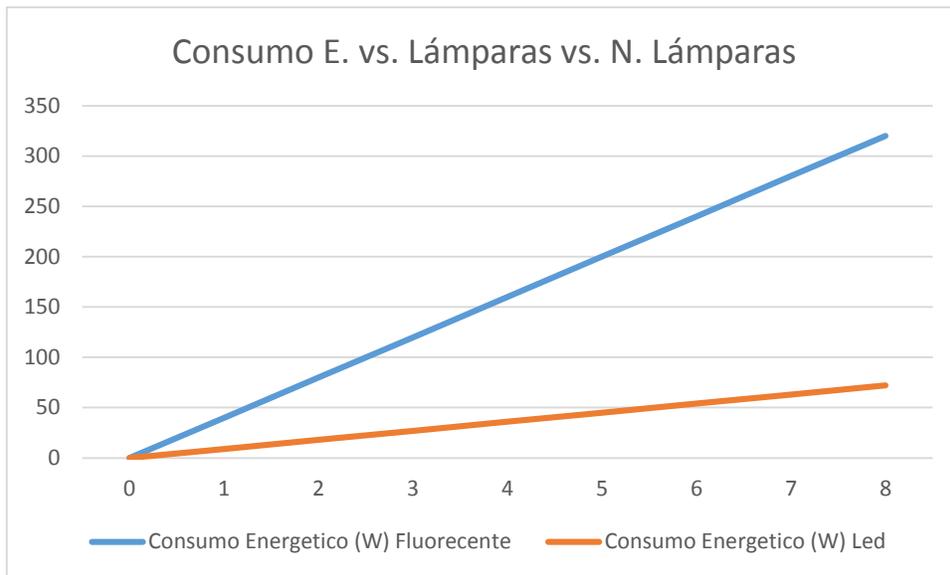


Figura 42 Consumo E. vs. Lámparas vs. N. Lámparas

Análisis:

En lámparas tipo fluorescente es de consumo de 40 W y en las lámparas tipo led es de 9 W, a medida que se van aumentando el número de lámparas el consumo va aumentando, y se muestra en la lámpara tipo led es de menor consumo.

5.3.2 Caso de prueba VI consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo fluorescentes

Los biorreactores de inmersión temporal en la Biofabrica de un cultivo de PIÑA MD2, la Biofabrica costa de 10 estantes, cada estante es de tres pisos, y cada piso está

dividido en dos secciones. Figura 26 Distribución de una sección de nivel. Los biorreactores se encuentran expuestos a la luz que generan luminarias tipo fluorescente, el cual se encuentra colocadas en cada nivel y sección correspondiente. Figura 25 Estante de los depósitos de explantes

Cada sección de piso consta de cuatro (4) luminarias de luz fría blanca, con cuatro (4) lámparas cada una, ósea, dieciséis (16) lámparas en cada piso, cada lámpara tiene un consumo de cuarenta (40) watts cada una, lo cual suman seiscientos cuarenta (640) watts por hora un solo piso y por estante son mil novecientos veinte (1920) watts; el patrón luminoso de cada luminaria hace que la mayor cantidad de luz se aplique a la parte central de la base en la cual se encuentran los frascos de los Biorreactores de Inmersión Temporal, correspondiendo a la mayor posibilidad de que el material vegetal utilice esta cantidad de fotones para realizar la fotosíntesis en la fabricación de su alimentación.

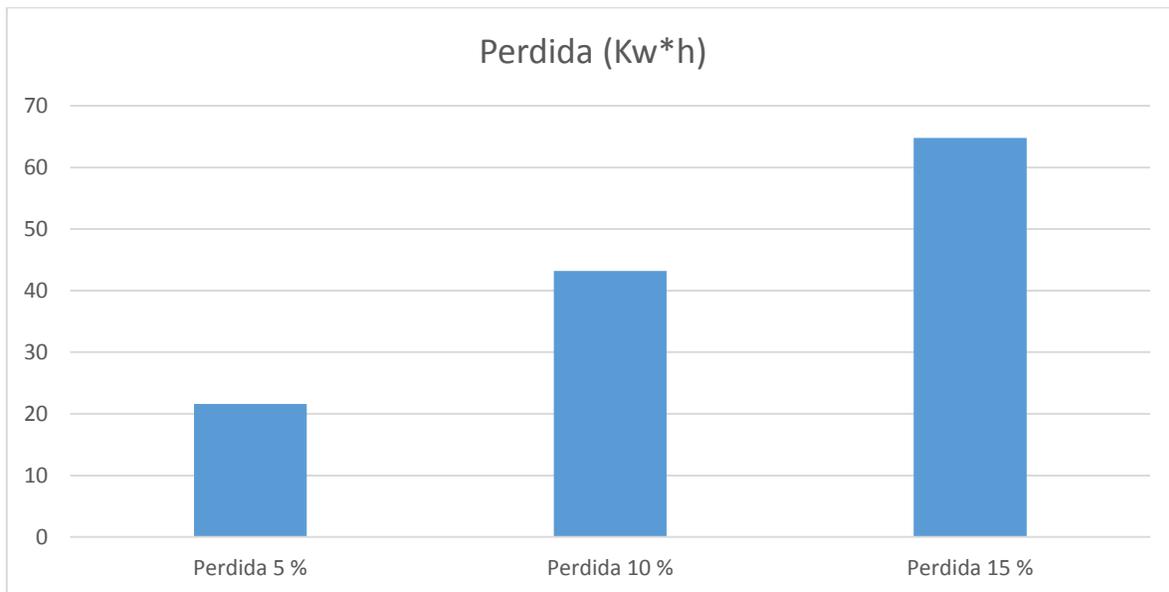


Figura 43 Caso de prueba consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo fluorescente

consumo (Kw*H)fluorescente	% perdidas	perdida (KW*h)	perdida (MW*año)

1920	5	96	622080
	10	192	1244160
	15	288	1866240

Tabla 17 Caso de prueba consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo fluorescente

5.3.3 Caso de prueba VII consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo led

Los biorreactores de inmersión temporal en la Biofabrica de un cultivo de PIÑA MD2, la Biofabrica consta de 10 estantes, cada estante es de tres pisos, y cada piso está dividido en dos secciones. Figura 26 Distribución de una sección de nivel. Los biorreactores se encuentran expuestos a la luz que generan luminarias tipo led, el cual se encuentra colocadas en cada nivel y sección correspondiente. Figura 25 Estante de los depósitos de explantes

Cada sección de piso consta de cuatro (4) luminarias de luz fría blanca, con cuatro (4) lámparas cada una, ósea, dieciséis (16) lámparas en cada piso, cada lámpara tiene un consumo de nueve (9) watts cada una, lo cual suman ciento cuarenta y cuatro (144) watts por hora un solo piso y por estante son cuatrocientos treinta y dos (432) watts; el patrón luminoso de cada luminaria hace que la mayor cantidad de luz se aplique a la parte central de la base en la cual se encuentran los frascos de los Biorreactores de Inmersión Temporal, correspondiendo a la mayor posibilidad de que el material vegetal utilice esta cantidad de fotones para realizar la fotosíntesis en la fabricación de su alimentación.

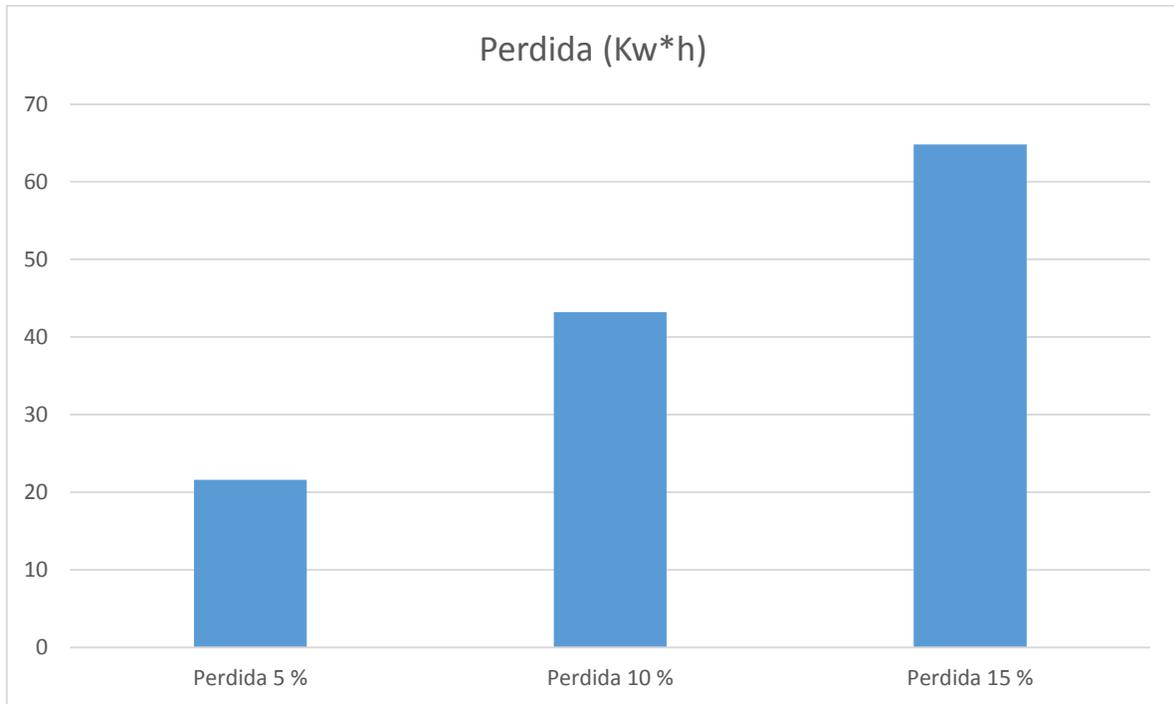


Figura 44 Caso de prueba consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo led

consumo (Kw*H)Led	% perdidas	perdida (KW*h)	perdida (MW*año)
432	5	21,6	139968
	10	43,2	279936
	15	64,8	419904

Tabla 18 Caso de prueba consumo energético de la iluminación con las lámparas tipo led

6 CONCLUSIONES

Se implementó un sistema de medición de iluminación vs. Longitud para determinar el consumo energético y calórico, a partir del empleo de sensores de temperatura, luminancia y proximidad, y la tecnología libre Arduino, el cual permitió determinar cuáles son las condiciones más adecuadas que permita garantizar los niveles de iluminación y temperaturas adecuados en los sistemas de inmersión temporal reduciendo de forma considerable el consumo energético en estos sistemas.

Se realizó la Validación y evaluación del funcionamiento de los sistemas de medición propuestos, mediante el empleo de 5 casos de pruebas. Los cuales permitieron comparar el consumo de energía consumida en el proceso. De igual forma, estos casos de prueba permitieron proponer cambios en cuanto a la arquitectura y la tecnología empleada en la iluminación del sistema de inmersión temporal del centro de Bioplantas.

7 ANEXOS

7.1 Anexo 1

/*****

Sensor de iluminaci3n TEMT6000 con Arduino

Conexiones: Pin -> 0 de entrada analogica

0 = muy oscuro;

1023 = muy iluminado

Sensor Ultrasonico HC-SR04 con Arduino

Conexiones: Pin Trig -> D12

Pin Eco -> D13

Vcc -> 5V

Gnd -> Gnd

*****/

//Declaraci3n de Pines a utilizar

int Pin_A0 = 0; //Entrada analogica Pin A0

int Re=10000;

float Lect, Vm, Ica, Ev;

const int Pin_Trig = 12;

const int Pin_Echo = 13;

float t, D;

String datos = "";

void setup() {

Serial.begin (9600); //Inicializo comunicaci3n serial

pinMode(Pin_Trig, OUTPUT);

```

pinMode(Pin_Echo, INPUT);
Serial.println("Iluminacion \t Distancia");
}
void loop() {
  Lect = analogRead(Pin_A0);
  Vm=(5*Lect)/1023;
  /*
  Para un fototransistor asumimos que
  Ica=Ic, por tanto
  Ica=Vm/Re
  Siendo la resistencia de emisor
  Re=10 Kilo-ohmios
  */
  Ica=(Vm/Re)*10000000; //dada en mili Amperios
  /*
  Según el fabricante la ecuación que describe el comportamiento
  de corriente de colector Vs. Iluminación es:

  Ev=0.5*(Ic) + 2E-13;
  donde Ev en lux (lx), Ica en micro amperios (uA)
  */
  Ev=0.5*(Ica)+0.00000000000002;
  /*
  El lux (símbolo lx) es la unidad derivada del Sistema Internacional
  de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación. Equivale a un
  lumen /m2. Se usa en la fotometría como medida de la luminancia, tomando
  en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad,
  un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano.

```

```

1 lx = 1 lm/m2
1 lx = 1 cd · sr/m2
*/
digitalWrite(Pin_Trig, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(Pin_Trig, HIGH); //Flanco ascendente
delayMicroseconds(10); //Duraci3n del pulso
digitalWrite(Pin_Trig, LOW); //Flanco Descendente
/* Recepci3n del eco de respuesta */
t = pulseIn(Pin_Echo, HIGH);
/* C3lculo de la distancia */
D = t/58;
/* Imprimir resultado en monitor serial */
Serial.print(Ev);
Serial.print("\t\t");
  if (D >= 400 || D <= 2){
    Serial.println("Fuera de rango");
  }
  else {
    Serial.println(D);
  }

  delay(500);
}

```

7.2 Anexo 2

```

import time
import serial

```

```

import sys
puerto_serie = serial.Serial('COM3', 9600, timeout = 1)
fichero = open('lecturas.csv','a')
contador = 0
while 1:
    lectura = puerto_serie.readline().strip()
    if len(lectura) > 2:
        contador = contador + 1
        monitor_activo = 1
        cadena = str(contador) + '\t' + lectura + '\t' + time.strftime("%H:%M:%S")
        fichero.write(cadena + '\n')
        print cadena
        time.sleep(0.01)
    if contador == 100:
        puerto_serie.close()
        exit(0)

```

7.3 Anexo 3

```

*****
Libreria del bus i2c para el sensor de temperatura Mlx90614
*****/

#include <i2cmaster.h>

/*****

    Declaración de Pines Sensor Ultrasonico Hc-sr04
*****/

const int Pin_Trig = 12; //Pin digital D12
const int Pin_Echo = 13; //Pin digital D13
*****/

```

Declaración de Pines Sensor de Iluminación TEMENT6000

```
/******
```

```
int Pin_Sig = 0; //Pin Analogico A0
```

```
*****
```

Declaración de Variables

```
/******
```

```
int Re=10000;
```

```
float t, D, Lect, Vm, Ica, Ev;
```

```
*****
```

```
void setup() {
```

```
    //Inicializa la comunicación serial
```

```
    Serial.begin (9600);
```

```
    //Declaración de entradas y salidas digitales
```

```
    pinMode(Pin_Trig, OUTPUT);
```

```
    pinMode(Pin_Echo, INPUT);
```

```
    //Inicializa el bus i2c
```

```
    i2c_init();
```

```
    //Habilita Pullups
```

```
    PORTC = (1 << PORTC4) | (1 << PORTC5);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    /******
```

Sensor de Temperatura MLX90614

```
*****
```

```
int dev = 0x5A<<1;
```

```
int data_low = 0;
```

```
int data_high = 0;
```

```
int pec = 0;
```

```

//Escribe
i2c_start_wait(dev+I2C_WRITE);
i2c_write(0x07);
// Lee
i2c_rep_start(dev+I2C_READ);
data_low = i2c_readAck(); // Lee 1 byte y envía ack.
data_high = i2c_readAck(); // Lee 1 byte y envía ack
pec = i2c_readNak();
i2c_stop();
// Esto convierte los bytes altos y bajos juntos y procesa la
// temperatura.
double tempFactor = 0.02; // 0.02 grados por LSB (medida
// de resolución del MLX90614).
double tempData = 0x0000;
int frac; // Datos después del punto
// decimal.
// Esto oculta el error del byte alto y lo mueve a la izquierda
// 8 bits y agrega el byte bajo.
tempData = (double)(((data_high & 0x007F) << 8) + data_low);
tempData = (tempData * tempFactor)-0.01;
float celcius = tempData - 273.15;

```

```

/*****

```

Sensor Ultrasonico Hc-sr04

```

*****/

```

```

/* Hacer el disparo */
digitalWrite(Pin_Trig, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(Pin_Trig, HIGH); //Flanco ascendente

```

```

delayMicroseconds(10);      //Duración del pulso
digitalWrite(Pin_Trig, LOW); //Flanco Descendente
/* Recepción del eco de respuesta */
t=pulseIn(Pin_Echo, HIGH);

/* Cálculo de la distancia */
D=t/58;
/******

Sensor de Iluminación TEMENT6000
*****/

Lect = analogRead(Pin_Sig);
Vm=(5*Lect)/1023;
Ica=(Vm/Re)*1000000; //dada en micro Amperios
Ev=0.5*(Ica)+0.0000000000002;
/******

Respuestas en monitor serial
*****/

/* Imprimir resultado en monitor serial */
if (D >= 400 || D <= 2){
  D=0;
  Serial.print(D);      //Distancia dada en cm
}
else {
  Serial.print(D);      //Distancia dada en cm
}
Serial.print(",");
Serial.print(Ica);      //Corriente Ica dada en uA
Serial.print(",");

```

```

Serial.print(Ev);      //Iluminación Ev dada en Lux
Serial.print(",");
Serial.println(celcius); //Temperatura dada en °C
/*****
    Retardo para disminuir la frecuencia de lectura
*****/
delay(500);
}

```

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ruíz-Leza, H., Rodríguez-Jasso, R., Rodríguez-Herrera, R., Contreras-Esquivel, J., & Aguilar, C. (2007). Diseño de biorreactores para fermentación en medio sólido. *Revista Mexicana de ingeniería Química.*, 40.
- [2] Basail, M. (2005). Multiplicación en Sistema de Inmersión Temporal del cultivar híbrido 'FHIA 21' (AAAB). Tesis para optar por el Grado Científico de Master en Biotecnología Vegetal. Instituto de Biotecnología de las Plantas. Santa Clara.
- [3] Basail, M. (2011). Empleo del Sistema de Inmersión Temporal para la multiplicación del clon de plátano vianda 'INIVIT PV 06-30' (AAB) y su generalización en las biofábricas. (<http://bva.fao.cu>).
- [4] Basail M, Medero V, Otero E, Torres M, Cabrera M, López J, Santos A, Rayas A, Bauta M, Páz E, Beovidez Y, Ortega A, Enrique J. (2011). Multiplicación in vitro de 'FHIA-25' (Musa spp., AAB) en Sistemas de Inmersión Temporal. *Revista Biotecnología Vegetal* 11(1): 27-31.
- [5] Orellana, P. 2009. Metodología para la micropropagación in vitro de clones de Musa spp. Curso teórico-técnico de propagación masiva de plantas. Santa Clara, pp. 46-57
- [6] Kitto, J. M. 1997. *Commercial Micropropagation HorScience*, 32(6): 1-3.
- [7] Aitken-Christie, J., Davies, H.E., Kubota, C., Kosai, T. 1995. *Automation in Plant*

Tissue Culture. General introduction overview: Automation and environment control in Plant Tissue Culture Kluwer, Academic Publisher, Dordrech, pp.1-19.

[8] Escalona, M. 1999. Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad de Ciego de Ávila, Centro de Bioplasmas de Ciego de Ávila, 94p.

[9] Escalona, M. 1999. Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, Universidad de Ciego de Ávila, Centro de Bioplasmas de Ciego de Ávila, 102p

[10] Sitio Web oficial del Centro de Bioplasmas. Tomado de URL http://www.bioplasmas.cu/sp/APP/Comercializacion/Transtecn/Detail_Transtecn.asp?Id=3 Visto con fecha 3/03/2009.

[11] Monserrat Lara Chávez, A., Micropropagación fotomixotrófica de *Anthurium andreanum* Lind., var. Tropical con nuevos reguladores de crecimiento en Biorreactores de Inmersión Temporal. Tesis presentada en opción al grado científico de Master en Biotecnología Vegetal. Universidad de Ciego de Ávila. Cuba.2003.

[12] Vandercook, T.B., Development of an automated plant culture system. *Plant Cell Tiss. Org. Cult.* 5: 107-117 1985.

[13] Mason, H.R., Two machines for in vitro propagation of plants in liquid media.*Can. J. Plant Sci.* 63: 311 - 316, 1983.

[14] García Gonzáles, D., Estudio sobre el comportamiento de las condiciones ambientales y sus efectos en la micropropagación de plantas. Trabajo de diploma. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Automática y Sistemas Computacionales. Universidad Central de las Villas. Santa Clara. Cuba. 2004.

[15] J. Murch Susan, C.L., Rosaura M. Romero & Praveen K. and Saxena, In vitro culture and temporary immersion bioreactor production of *Crescentia cujete*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 78. . Kluwer Academic Publishers , 2004.

[16] P, D., Improving mass propagation of in vitro plantlets. In: Kozai T (ed) Horticulture in High Technology Era (pp 45 - 57).International Symposium on High Technology in Protected Cultivation, Tokio. 1988.

[17] Olmedo, D.C.R.y.J.G., Micropropagación de Eucalipto en el sistema de inmersión temporal. Universidad Católica de Oriente, Universidad de Ciego de Ávila. 2000.

[18] Cortéz, C.R., Controladores lógicos programables. . Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Junio 2001.

[19] Chavarria, Luis, SCADA System & Telemetry, 13 de octubre del 2007.

[20] Sistema SCADA,

<http://www.tracnova.com/tracnova-pub/Rees%20SC%20ADA%20NI.pdf>.

[21] Trujillo Codorniú, R., Manual de Usuarios Sistema de Supervisión y control de procesos EROS versión 5.0 2001.

[22] José Roberto Vignoni, Sensores, 2003.

[23] Tablada, C. y Gladys Hernández.(2003). Petróleo, poder y civilizacion._ La Habana: Editorial Ciencias Sociales.155 pp

[24] Kapitsa, P. (1985). Experimentos, teoría y practica._ Moscú Editorial Mir. 240 pp

[25] Borroto A. E et al. (2001). Gestión Energética Empresarial. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos. Cienfuegos. Disponible en formato PDF