

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



AUTOMATIZACIÓN DE UNA ESTRUCTURA PARA
ESTUDIOS DE FOTOPERIODO EN LA PRODUCCIÓN DE
SEMILLA DE CAÑA DE AZÚCAR EN SANTA LUCÍA
COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.

Trabajo de investigación presentado por Ever Oswaldo Trejo López
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Tecnología Industrial

Guatemala
2016

**AUTOMATIZACIÓN DE UNA ESTRUCTURA PARA
ESTUDIOS DE FOTOPERIODO EN LA PRODUCCIÓN DE
SEMILLA DE CAÑA DE AZÚCAR EN SANTA LUCÍA
COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

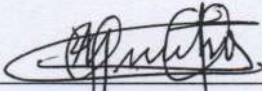


AUTOMATIZACIÓN DE UNA ESTRUCTURA PARA
ESTUDIOS DE FOTOPERIODO EN LA PRODUCCIÓN DE
SEMILLA DE CAÑA DE AZÚCAR EN SANTA LUCÍA
COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA.

Trabajo de investigación presentado por Ever Oswaldo Trejo López
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería en
Tecnología Industrial

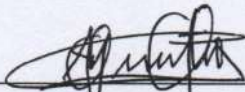
Guatemala
2016

Vo. Bo.:

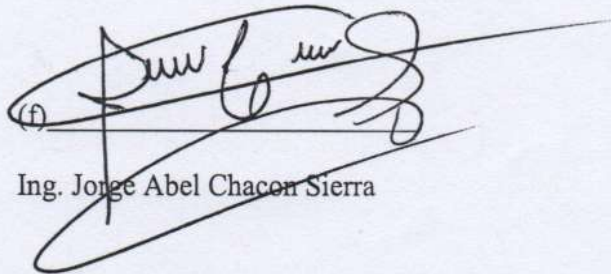
(f) 

Ing. Sergio Estuardo Barrera Urrutia

Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Sergio Estuardo Barrera Urrutia

(f) 

Ing. Jorge Abel Chacon Sierra

(f) 

Ing. Fernando Rafael Rivera Turcios

Fecha de aprobación: Guatemala 26 de enero de 2016.

Fecha de aprobación: Guatemala 26 de enero de 2016. la cámara de fotoperíodo surge en el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar CENGICAÑA ubicada en km 92.5 carretera a Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. El proyecto es propuesto por el área de Variedades en la cual se mejoran continuamente las propiedades genéticas de la caña de azúcar y se avanza en nuevas tecnologías de aplicación en la industria cañera.

Como parte del proyecto se participó en la automatización de la estructura, con el fin de mejorar la eficiencia de tiempos del proceso de fotoperíodo y así poder maximizar las posibilidades del éxito del proyecto.

Se agradece a CENGICAÑA por permitir participar en dicho proyecto, en el cual se pusieron en práctica conocimientos de automatización adquiridos durante el estudio académico y a la vez se reforzaron áreas durante el período de realización del proyecto.

Se agradece a Dr. José Luis Quemé por su colaboración en el estudio del área agrícola del proyecto así como su asesoría para la realización de la estructura, asimismo se agradece a Ing. Agr. Aldo Salazar por su aporte de información para complementar el desarrollo del trabajo de graduación.

ÍNDICE

	Página
Prefacio	V
Lista de cuadros	VII
Lista de figuras.....	VIII
Resumen	IX
I. Introducción.....	1
II. Objetivos	2
III. Justificación	3
IV. Antecedentes.....	4
V. Marco teórico	6
A. Floración y fotoperiodo en Guatemala	6
B. Automatización	8
VI. Metodología.....	12
VII. Resultados	27
VIII. Análisis de resultados.....	29
IX. Conclusiones.....	30
X. Recomendaciones.....	31
XI. Bibliografía	32
XII. Anexos.....	33
XIII. Glosario.....	36

LISTA DE CUADROS

	Página
1. Curva de fotoperiodo a 14° 30´ Latitud Sur en Guatemala.....	8
2. Pirámide de la automatización	10
3. Tratamientos fotoinductivos.....	11
4. Frecuencia de vientos por rangos de velocidad	16
5. Diagrama estructural de iluminación según cámara de fotoperiodo estática de CINCAE - Ecuador	17
6. Distribución de lámparas y focos según cámara de fotoperiodo estática de CINCAE - Ecuador	17
7. Diseño frontal de cámara de fotoperiodo de Fotoperiodo Fase 3.....	18
8. Diagrama eléctrico de cámara de fotoperiodo Fase 3.....	19
9. Programa para elemento de control para inducción de luz	23
10. Programa para elemento de control para aumentar oscuridad	24
11. Registro de horarios de luz solar	26

LISTA DE FIGURAS

Página

1. Cámara de fotoperiodo Fase 1	4
2. Control de cámara de fotoperiodo Fase 1	4
3. Vista frontal de cámara de fotoperiodo Fase 1	4
4. Cámara de fotoperiodo Fase 2	5
5. Interior de cámara de fotoperiodo Fase 2	5
6. Floración de la caña de azúcar	6
7. Cámara de fotoperíodo móvil, modelo de Cenicaña - Colombia	12
8. Cámara de fotoperiodo estática, modelo de Jounal American Society Sugar Cane Technologist, Lousiana, USA	13
9. Carretón móvil modelo de Jounal American Society Sugar Cane Technologists, Lousiana, USA	13
10. Cámara de fotoperiodo estática, CINCAE - Ecuador	14
11. Carretón móvil, CINCAE - Ecuador	14
12. Cámara de fotoperiodo estática, IAC - Brasil	15
13. Interior cámara de fotoperiodo estática, IAC - Brasil	15
14. Instalación de elementos de iluminación	19
15. Conexión de bombillos incandescentes de 25 Watts	20
16. Mecanismo de movilidad del carretón	20
17. Mecanismo de rieles	21
18. Limit Switch	21
19. Brazo eléctrico para apertura de portón de cámara de fotoperiodo	21
20. Final de carrera	21
21. Elemento de control.	22
22. Cuarto eléctrico.	22
23. Carga de programa desde PC hacia Zelio	25
24. Cámara de fotoperiodo exterior, Fase 3 - 2015	27
25. Cámara de fotoperiodo interior, Fase 3 - 2015	28
26. Carretón de cámara de fotoperiodo, etapas de crecimiento de la caña de azúcar Fase 3 - 2015	28

RESUMEN

Se implementó un sistema de automatización en una estructura para estudio de fotoperiodo, con el fin de aplicar luz artificial a la caña de azúcar sin interrumpir su período de luz natural y lograr la inducción óptima, para obtener un sincronismo de floración en variedades que no florecen en determinadas áreas de la zona cañera, al lograr tener una floración óptima se podrá obtener semilla sexual todo esto con el fin de utilizar la semilla sexual para poder hacer nuevos cruces de variedades y cumplir objetivos de calidad.

Se instalaron elementos de campo y de control en la estructura de block y lámina para poder controlar el proceso de forma más precisa.

I. INTRODUCCIÓN

Se realizan estudios para mejorar genéticamente la caña de azúcar, por tal razón han surgido diferentes tipos de variedades con distintas características, con el afán de seguir mejorando su calidad se hacen cruces de variedades lo cual se logra por medio de la obtención de semilla sexual, para lo cual se requiere una floración óptima; estudios recientes indican que para que una planta de caña de azúcar floree en condiciones óptimas, requiere cierta cantidad de luz solar diaria lo cual ha sido un impedimento para poder hacer cruces ya que florecen en diferentes fechas durante la época de floración del año, porque no todas reciben la misma cantidad de luz solar.

Para lograr un sincronismo de floración actualmente se ha comenzado a implementar estructuras de estudio de fotoperíodo por medio de las cuales se les induce luz artificial a las variedades obteniendo resultados positivos.

En Guatemala actualmente no se realizaba este tipo de estudios, ya que se habían hecho prototipos pero por errores de infraestructura no se lograban los resultados esperados; por lo cual se implementó una estructura sólida y automatizada con el fin de tener una precisión en el tiempo de inducción de luz y así obtener resultados favorables para la industria cañera del país.

II. OBJETIVOS

A. General:

- Implementar un sistema automatizado en la estructura de estudio de fotoperíodo y así tener un control eficiente de tiempos de inducción de luz artificial en las variedades del proceso de fotoperíodo.

B. Específicos:

- Diseñar un diagrama del circuito eléctrico para la iluminación y tomacorrientes e instalar dispositivos eléctricos y mecánicos a la estructura de estudios.
- Instalar un dispositivo para programar tiempos según control de horarios para casa de fotoperíodo, controlar el equipo mecánico y eléctrico y además elaborar la programación del mismo.
- Simular la luz del ocaso para inducir a la caña de azúcar y lograr obtener una floración óptima en todas las variedades.

III. JUSTIFICACIÓN

Esta implementación es necesaria para poder satisfacer la necesidad de tener un control óptimo de tiempos programados para el proceso de fotoperiodo de la caña de azúcar, automatizando de manera que el nuevo diseño de la casa tenga mejores resultados que dos proyectos anteriores en los cuales había falta de precisión y mala infraestructura. El proyecto permitirá poner en práctica áreas aprendidas durante el ciclo de formación académica entre estas Electricidad (Instalaciones de cajas eléctricas, motor eléctrico, tomacorrientes, iluminación, switch, etc. Automatización (instalación de finales de carrera, portón eléctrico y todo programado desde un controlador Zelio (Relé Inteligente), Práctica de conocimientos de programación en la elaboración del programa. Poner en práctica la parte mecánica industrial en acoplar un sistema para que el motor mueva el carretón sobre los rieles de metal. El estudiante podrá adquirir conocimientos nuevos los cuales podrá ponerlos en práctica para futuros proyectos. CENGICAÑA logrará tener un proceso automatizado el cual eliminará la intervención y tiempo perdido en un empleado que manipule el proceso.

IV. ANTECEDENTES

Este proyecto se llevó a cabo dos veces con resultados fallidos en la infraestructura, iniciando el 2005 con la Fase 1, la cual consistió en una casa móvil que se movía con un motor el cual desplazaba por medio de rieles; la casa estaba equipada con iluminación que simulaba luz de día. El proceso de activación del motor era de manera manual, es decir, un operador se encargaba de ir todos los días y activar el motor que desplazaba la casa hacia la caña y se encargaba de encender las luces durante el tiempo necesario. Esto ocasionaba un problema porque no se manejaban tiempos exactos y cuando el operador no podía llegar a manipular el proceso se retrasaba el procedimiento. La casa era de marco de metal forrada de lona la cual se deterioró y se destruyó en un año.

Figura 1. Cámara de fotoperiodo Fase 1



Figura 2. Control de cámara de fotoperiodo Fase 1



Figura 3. Vista frontal de cámara de fotoperiodo Fase 1



Luego se realizó la Fase 2 en el año 2013 construyendo nuevamente una estructura, ampliando sus dimensiones y reubicando la cámara de fotoperíodo en otra área.

El funcionamiento era el mismo que el de la Fase 1 en el cual se movía con un motor el cual desplazaba por medio de rieles; la casa estaba equipada con iluminación que simulaba luz de día. El proceso de activación del motor era de manera manual, es decir, un operador se encargaba de ir todos los días y activar el motor que movía la casa hacia la caña y se encargaba de encender las luces durante el tiempo necesario. La estructura de la Fase 2 falló debido al fuerte viento que se genera en la zona el cual destruyó la estructura.

Figura 4. Cámara de fotoperíodo Fase 2



Figura 5. Interior de cámara de fotoperíodo Fase 2



V. MARCO TEÓRICO

Se pretende mejorar genéticamente la caña de azúcar para lograr obtener nuevas variedades con mejor rendimiento y productividad para lo cual se realizó un proceso de automatización y así tener una precisión de tiempos de iluminación y lograr crear las condiciones para una floración óptima, a este proceso se le llama Fotoperiodo y con este se aplicó luz y oscuridad artificial a la planta lo cual se logró empleando el equipo eléctrico y mecánico adecuado en conjunto con elementos de control avanzados.

A. FLORACIÓN

La floración es el producto final de un conjunto de efectos acumulativos que están relacionados con aspectos ambientales. Estos producen diversos cambios metabólicos en la planta, que dan origen finalmente a la semilla.

Existen muchos factores intrínsecos como extrínsecos que participan en la floración; un factor extrínseco es el fotoperiodo. En la Figura 6 se aprecia la floración de la caña de azúcar, variedades analizadas en caza de cruzamientos de CENGICANA.

Figura 6. Floración de la caña de azúcar



B. FOTOPERIODO

El fotoperiodo se refiere a la respuesta de las plantas a la duración diaria de luz, unas lo hacen en días largos, y por lo tanto, florecen en días largos en aumento; también las hay de días cortos que preceden a los días largos; otras solo florecen bajo un rango estrecho de longitud de día y se conocen como intermedias.

Las plantas de caña responden en forma diferencial a la duración de la luminosidad diaria. Existe bastante controversia en relación con el fotoperíodo requerido para la caña; en un tiempo se consideró que el fotoperíodo inductivo era el mismo para todas las variedades; sin embargo, actualmente se acepta que las distintas variedades tienen diferente respuesta a la duración de la luz. La mayoría se ubica dentro del grupo de fotoperíodo intermedio.

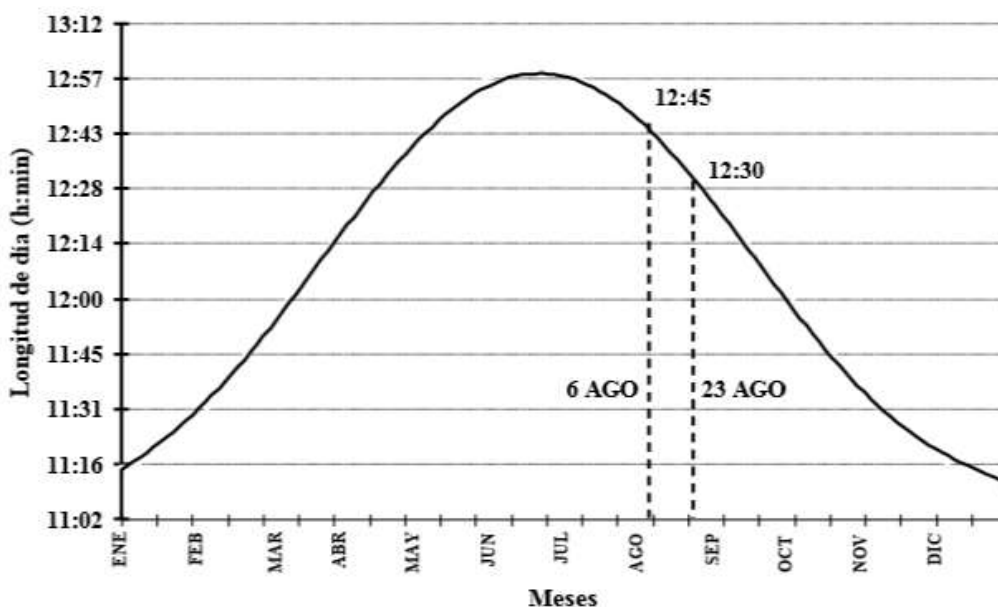
Para que la caña inicie el proceso de inducción floral de forma óptima, debe recibir ciclos inductivos de duración lumínica de 12,5 horas, con variaciones de 15 minutos de acuerdo con las variedades. Para su normal desarrollo, la caña requiere una intensidad lumínica elevada. Las necesidades de luz durante el período inductivo son altas. La floración se atrasa cuando la interrupción del período oscuro ocurre después de la inducción, en cualquier estado de desarrollo de la inflorescencia.

La floración de la caña de azúcar está influenciada por factores externos e internos, tales como: el fotoperíodo, temperatura, insolación o brillo solar, latitud, altitud, nutrientes y humedad del suelo, edad fisiológica, sensibilidad de la variedad para florecer, hormonas, fitocromos y otros.

C. FOTOPERIODO EN GUATEMALA:

El fotoperiodo es uno de los factores más predominantes que influyen en el proceso de la floración. En relación con el fotoperíodo, la caña de azúcar se comporta como una planta de día corto. Lo anterior implica que la inducción de la floración se propicia cuando la longitud de la noche (Nictoperíodo) es preponderante y de una duración superior a un nivel crítico. Según estudios la longitud del día de 12 h 28 min (Nictoperíodo de 11 h 32 min) es la más cercana para la inducción de la floración lo cual indica que la floración de la caña de azúcar es inducida mediante la disminución lenta de la longitud del día a partir de 12 h 30 min. Además la floración es mucho mejor en áreas donde la longitud del día disminuye a una tasa de 30 a 60 segundos por día, a partir de 12 h 45 min. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) de Guatemala, relacionados con salidas y puestas del sol; las 12 h 30 min ocurren naturalmente en Guatemala entre el 23 y 25 de agosto, tal como se observa en la Figura 1, mientras que las 12 h 45 min ocurren en los primeros seis días de agosto.

Cuadro 1. Curva de fotoperiodo a 14° 30' Latitud Sur en Guatemala



En un estudio realizado en el estrato medio de la zona cañera guatemalteca, en donde se consideró el fotoperiodo de 12 h 30 min y la longitud promedio de la inflorescencia inicial, se determinó que la recepción del estímulo para la inducción floral y la iniciación del primordio floral en la variedad CP72-2086 se pudo haber dado en el período comprendido del 16 al 31 de agosto.

Para llevar un control riguroso respecto a las horas luz que debe recibir la caña de azúcar es necesario realizar un proceso automático para minimizar el riesgo de error humano.

D. AUTOMATIZACIÓN:

La automatización es un sistema muy efectivo en el cual se sustituyen tareas ejecutadas por operadores humanos por elementos tecnológicos.

1. Un sistema automatizado se divide en dos partes:

a. Parte de mando: Es la parte automática programable, entre estos; relés electromagnéticos, controles lógicos, microcontroladores, etc.

b. Parte operativa: Es la parte que actúa directamente sobre la máquina y da movilidad al proceso, entre estos los sensores, finales de carrera, motores, etc.

El origen de la automatización se remonta a los años 1750, cuando surge la revolución industrial.

2. Objetivos de la automatización:

- Mejorar la calidad y uniformidad del producto
- Minimizar el esfuerzo y eficiencia de tiempos
- Mejorar la productividad mediante un mejor control del proceso.
- Mejorar la calidad mediante procesos repetitivos.
- Reducir la intervención humana, el aburrimiento y posibilidad de error humano.
- Reducir el daño en las piezas que resultaría del manejo manual.
- Aumentar la seguridad para el personal.
- Ahorrar área en la planta haciendo más eficiente.
- El arreglo de las máquinas.
- El flujo de material.

3. Clasificación de la automatización industrial

a. Automatización de fábrica:

- Empaquetadoras
- Clasificadoras
- Ensambladoras

b. Automatización de procesos:

- Ingenios azucareros
- Petroleras
- Explotación de minas

En este proyecto se realizará automatización de proceso, en Área de Investigación Azucarera.

4. Niveles de la automatización

a. Mecanizado: La máquina realiza la operación, sin embargo el ser humano opera la máquina y es responsable de seguir la secuencia de operaciones.

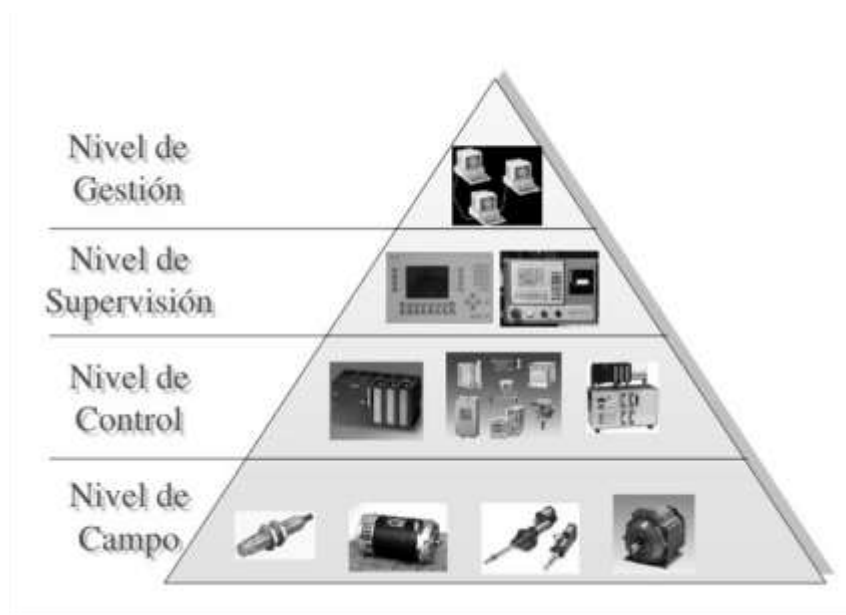
b. Automatización parcial: La máquina realiza varias operaciones en secuencia y de forma autónoma, pero necesita de la intervención humana para poner y retirar piezas.

c. Automatización total: La máquina es totalmente autónoma. No necesita intervención humana. El operador realiza tareas de supervisión y mantenimiento preventivo.

El nivel de automatización que se empleará inicialmente es la automatización parcial debido a que hay que programar horarios consecutivamente para que funcione el proceso.

En la pirámide de la Automatización (ver Cuadro 2) se detallan los niveles de automatización en el cual se observan los dispositivos que conforman cada parte de un proceso automatizado.

Cuadro 2. Pirámide de la automatización



Beneficios de instalar una estructura automatizada para el estudio de fotoperiodo:

1. Realización de cruzas planificadas que en forma natural no se pueden realizar, ya sea por falta de floración y/o sincronización.
2. Las cruzas planificadas pueden estar dirigidas a características especiales tales como: alta sacarosa, resistencia a enfermedades y plagas, adaptación a estratos específicos y otros.
3. Mayor aprovechamiento del recurso genético existente.
4. Contribución a la ampliación de la base genética.

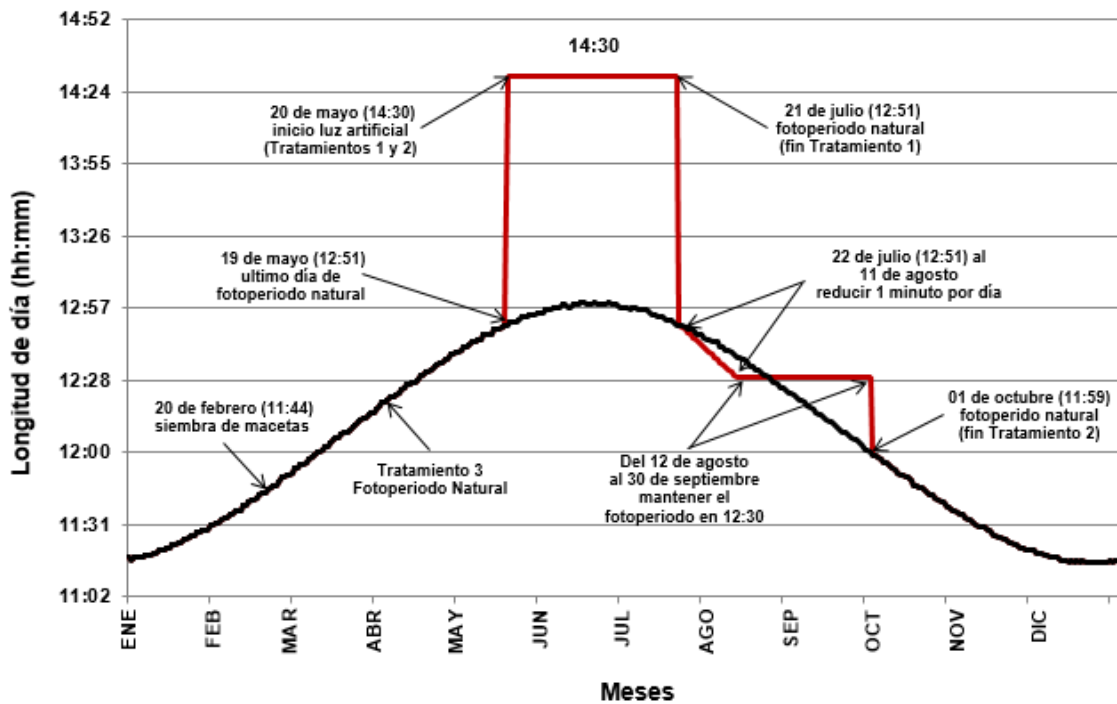
Para mejorar la caña de azúcar modificando genéticamente su estructura, se necesita hacer cruzamiento de variedades, para lo cual se requiere que una muestra la cuál en este proyecto serán 16 variedades entre éstas floreadoras y no floreadoras; las cuales se tratará de que floreen en óptimas condiciones para así utilizar la semilla sexual de la flor y hacer el cruce.

Todas las variedades floreen en diferentes períodos debido a sus características internas además de las condiciones geográficas y climatológicas, lo cual hace muy difícil poder realizar el cruce de semillas de algunas variedades porque no coinciden sus períodos de floración.

Con el fotoperiodo controlado se pretende lograr un sincronismo de floración haciendo que las plantas obtengan las características externas (suelo, luz, temperatura, etc.) muy similares lo cual se logra implementando una estructura de estudio de fotoperíodo llamada “Cámara de fotoperiodo” en la cual se da tratamientos fotoinductivos a las variedades lo cual es inducción de luz para que la planta logre una floración óptima.

Se requiere la construcción y automatización de una estructura para el estudio de fotoperíodo y así poder realizar tratamientos fotoinductivos, (Ver Cuadro 3) y obtener una floración óptima para el año 2015.

Cuadro 3. Tratamientos fotoinductivos



VI. METODOLOGÍA

Debido a la necesidad de construir una estructura resistente y a la vez tener un control eficiente del proceso de fotoperíodo de la planta, se hizo un estudio de estructuras para el estudio de fotoperíodo ubicadas en otros países para así tener referencia y lograr implementar una estructura automatizada funcional.

Figura 7. Cámara de fotoperíodo móvil
Modelo de Cenicaña – Colombia



Diseño de cámara de fotoperíodo móvil en la cual las macetas están estáticas y la estructura de lona con iluminación se mueve hacia ellas para inducirles luz durante la noche.

Figura 8. Cámara de fotoperiodo estática
Modelo de American Society Sugar Cane Technologists,
Lousiana, USA



Diseño de cámara de fotoperiodo estática con seis cubículos de lámina y carretones móviles en los cuales es depositada la caña para que entre a los cubículos y les sea inducida luz artificial.

Figura 9. Carretón móvil
Modelo de American Society Sugar Cane Technologists,
Lousiana, USA



Figura 10. Cámara de fotoperiodo estática
CINCAE - Ecuador



Diseño de cámara de fotoperíodo estática con tres cubículos de lámina y carretones móviles en los cuales es depositada la caña para que entre a los cubículos y les sea inducida luz artificial.

Figura 11. Carretón móvil
CINCAE - Ecuador



Figura 12. Cámara de fotoperiodo estática
IAC – Brasil



Figura 13. Interior cámara de fotoperiodo estática
IAC – Brasil

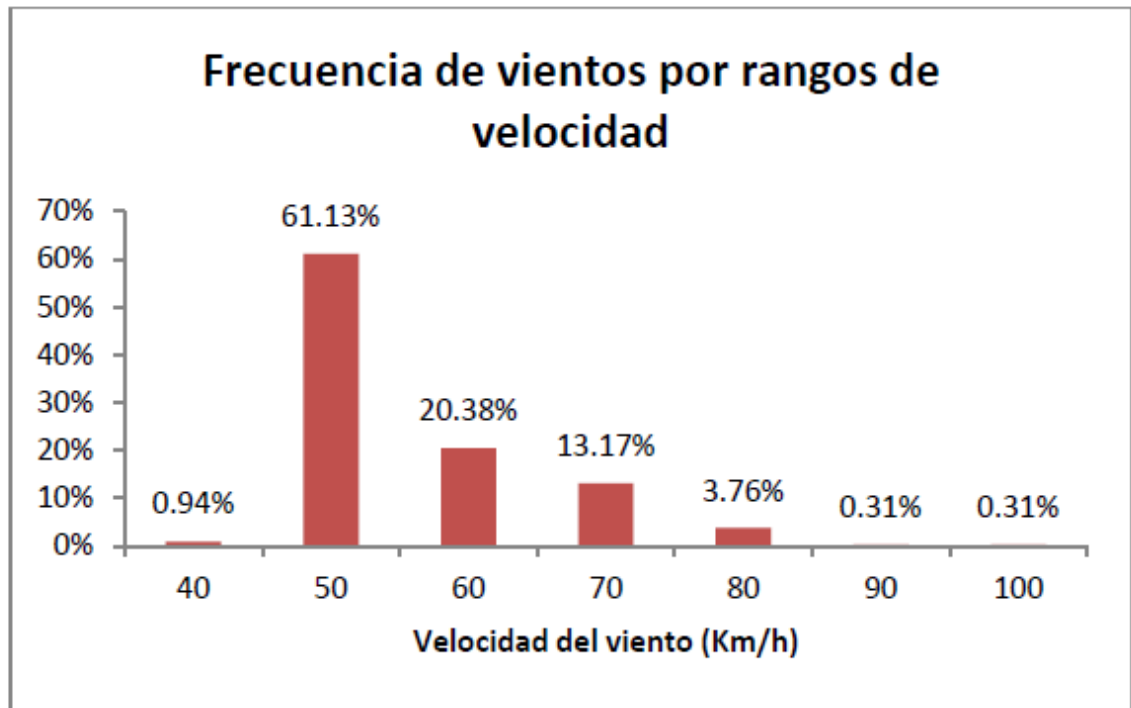


Diseño de cámara de fotoperiodo estática con tres cubículos de block, lámina y carretones móviles en los cuales es depositada la caña para que entre a los cubículos y les sea inducida luz artificial.

Además se analizó la frecuencia de vientos mayores a 40 km/h en la zona para poder tener idea del impacto que pueden ocasionar las condiciones ambientales en nuestra estructura.

Frecuencia de vientos mayores a 40 km/h de la estación CENGICAÑA

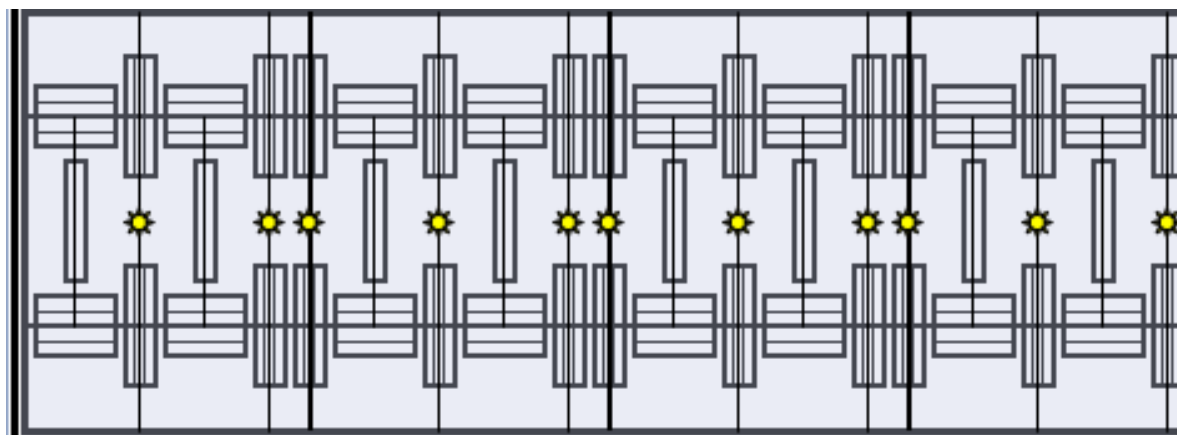
Cuadro 4. Frecuencia de vientos por rangos de velocidad



Para el análisis se tomaron en cuenta 319 registros con información de velocidad del viento mayor a 40 Km/h. La figura presenta el histograma con las frecuencias de los registros de velocidad del viento, agrupados en siete clases. En el histograma se puede observar que más del 60% de los eventos ocurren en el rango de los 50 a los 59 Km/h, mientras que los eventos de más de 80 Km/h son raros (menos del 4.38%).

Con base en los resultados del estudio de viento observamos la fuerte velocidad del viento en la zona, y con el análisis de otras estructuras para estudio de fotoperíodo se decidió realizar la estructura basándose en el modelo de la Cámara de Fotoperíodo Estática de IAC – Brasil, la cual está reforzada con estructura de block. Para el diseño de iluminación se tomará como referencia el diagrama de la Cámara de Fotoperíodo Estática de CINCAE - Ecuador el cual se detalla a continuación:

Cuadro 5. Diagrama estructural de iluminación según cámara de fotoperiodo estática de CINCAE - Ecuador



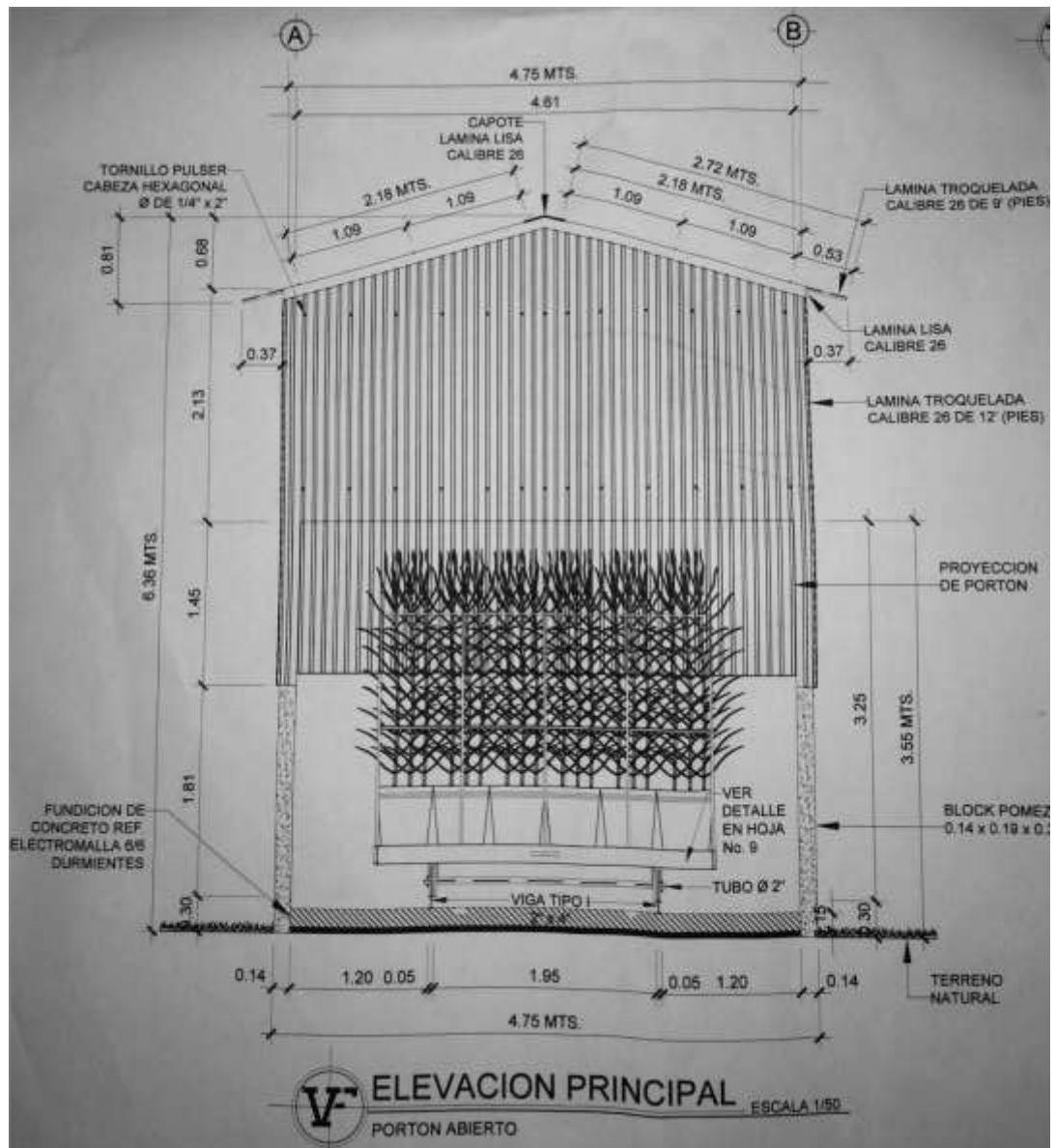
Cuadro 6. Distribución de lámparas y focos según cámara de fotoperiodo estática de CINCAE - Ecuador

No. Bases	Flourescente				Incandescente			Tasa
	Lámparas por base	Total Lámparas	Wattage	Total Wattage	No. Focos	Wattage	Total Wattage	(F:I)
16	4	64	40	2560	11	180	1980	
22	3	66	40	2640				
8	2	16	40	640				
46		146		5840			1980	2.95:1

Diagrama diseñado para poder inducir luz de manera que se logre simular luminosidad del ocaso, se inducirá luz a las variedades de caña de azúcar dependiendo del horario de puesta de sol para así poder complementar las horas sol/día según gráfica de tratamientos Fotoinductivos (ver Figura 4).

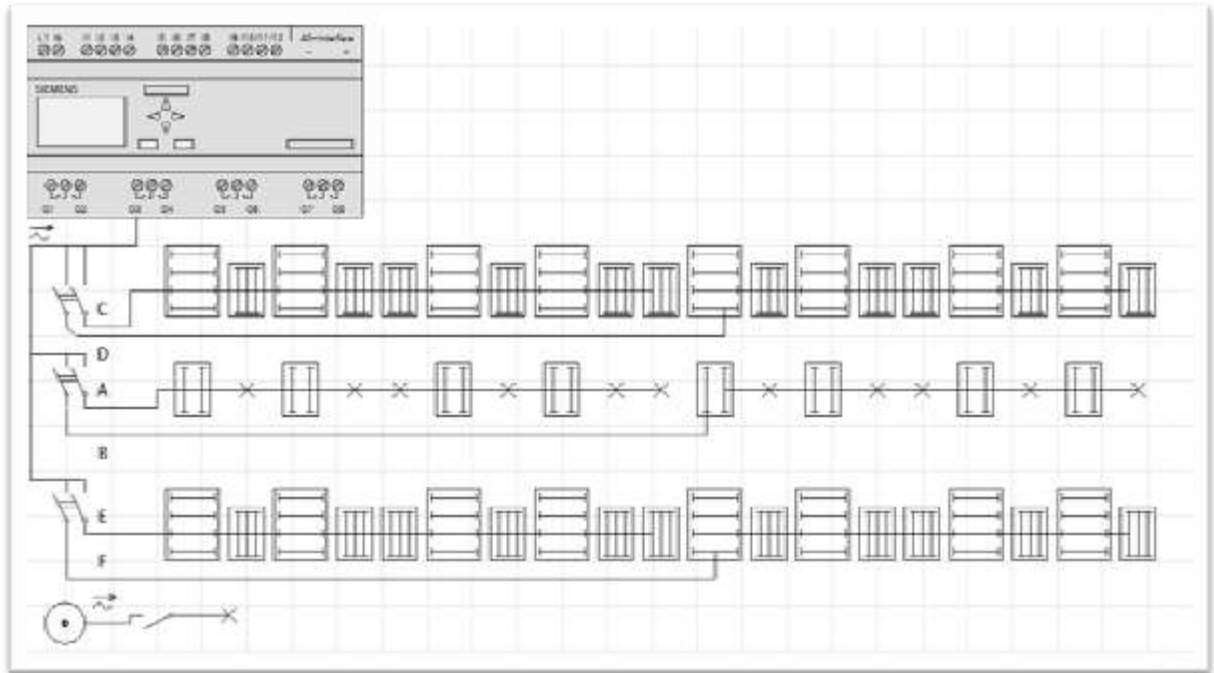
En los días que se reducirá horas sol/día no se aplicará iluminación ya que la cámara de fotoperíodo servirá para dar oscuridad a las variedades de caña de azúcar.

Cuadro 7. Diseño frontal de cámara de fotoperiodo
Fase 3



Con base en el estudio realizado y tomando en cuenta los factores analizados; se optó por tomar el modelo de Cámara estática con carretón móvil para darle solidez a la estructura y así prevenir posibles daños o fallas producidas por el viento de la zona de la estación.

Cuadro 8. Diagrama eléctrico de cámara de fotoperiodo
Fase 3



El sistema de iluminación se dividió en seis circuitos eléctricos (A, B, C, D, E, F) las cuales están conectadas a tres contactores, los cuales se activan desde la salida “Q3” del relé inteligente “Zelio”.

Con base en diagrama de iluminación se realizó la instalación de las 146 lámparas fluorescentes de 40 watts y 11 bombillos incandescentes de 25 watts.

Figura 14. Instalación de elementos de iluminación



Figura 15. Conexión de bombillos incandescentes de 25 Watts



Se utilizó la estructura de la iluminación en la cámara de fotoperíodo para sostener el cableado de las líneas de conexión para las lámparas fluorescentes y bombillos incandescentes.

Figura 16. Mecanismo de movilidad del carretón



Para el mecanismo de movilidad del carretón se utilizó un motor de 1725 RPM con una conexión estrella 208 trifásico el cual se acciona desde dos contactores que hacen el cambio de giro para que mueva el carretón hacia adentro o afuera de la cámara de fotoperíodo; el motor está conectado a una caja reductora por medio de un juego de poleas con faja.

La caja reductora se conectó hacia una rueda dentada por medio de una cadena la cual transfiere la fuerza mecánica a los rodos que mueven sobre rieles el carretón.

El tiempo de entrada o salida del carretón hacia la cámara de fotoperíodo es de 8 minutos.

Se instalaron dos Limit Switch para detener el motor del carretón cuando entra y sale de la cámara de fotoperíodo.

Fig 17. Mecanismo de rieles



Figura 18. Limit Switch



Para abrir y cerrar el portón de manera automática se instaló dos brazos eléctricos y se instaló un final de carrera el cual indica cuando el portón está abierto para que pueda salir el carretón.

Figura 19. Brazo eléctrico para apertura del portón de cámara de fotoperíodo



Figura 20. Final de carrera



Para controlar los dispositivos eléctricos se instaló un autómata “ZELIO” de la marca Schneider de siete entradas y siete salidas. Un autómata es un dispositivo electrónico programable, el cual está destinado a gobernar dentro de un entorno industrial, generalmente maquinas o procesos lógicos y/o secuencias; el cual se compone por cuatro grupos principales: Entradas, salidas, procesador y memoria.

Figura 21. Elemento de control.



Se edificó un cuarto eléctrico en el cual se instalaron las cajas de flipones y los contactores para el circuito eléctrico.

Figura 22. Cuarto eléctrico.



Se instalaron tres tableros eléctricos.

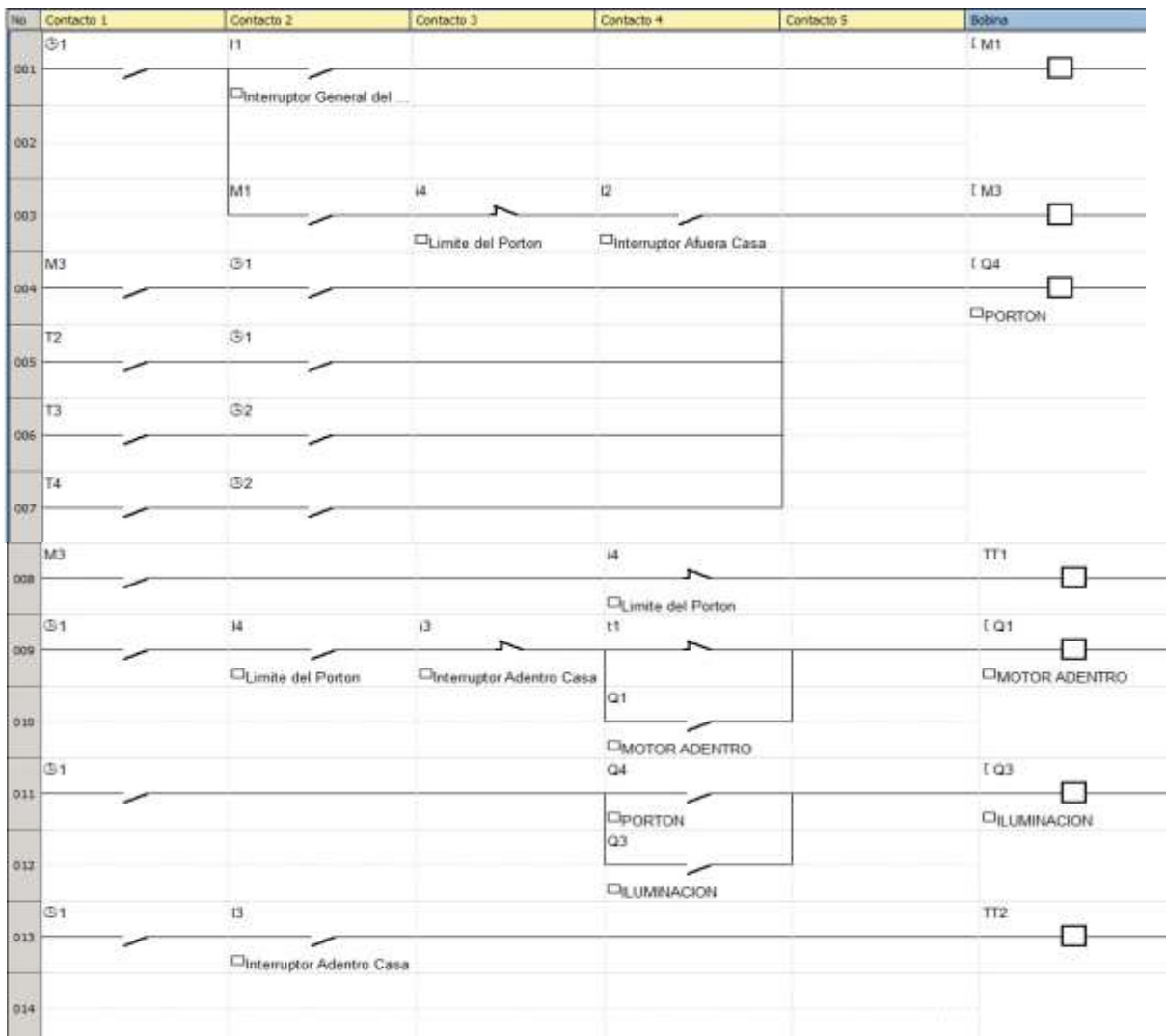
En el tablero 1 se instaló el flip on general, 2 contactores NA de entrada y salida del carretón y el relé inteligente (“Zelio” de la marca Schneider) con un flip on que lo alimenta, además, se instaló a un costado del tablero un dispositivo de protección de sobre cargas eléctricas.

En el tablero 2 se instalaron los flipones de alimentación del motor de carretón, iluminación y Zelio, además, se instaló a un costado del tablero un dispositivo de protección de sobre cargas eléctricas.

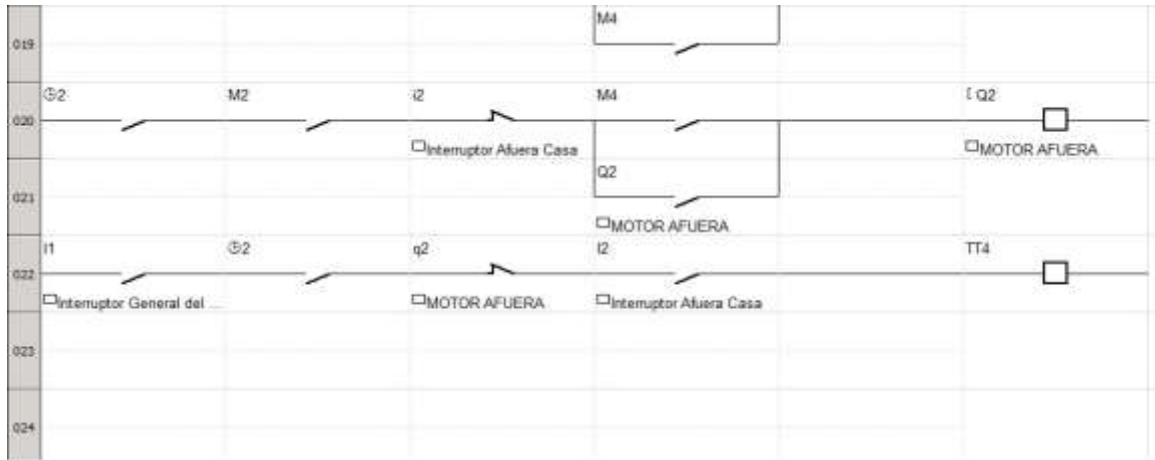
En el tablero 3 se instalaron 3 contactores NA para la distribución del circuito de iluminación.

Para el control de dispositivos se elaboró un programa en la aplicación “Zelio Logic” para el elemento de control.

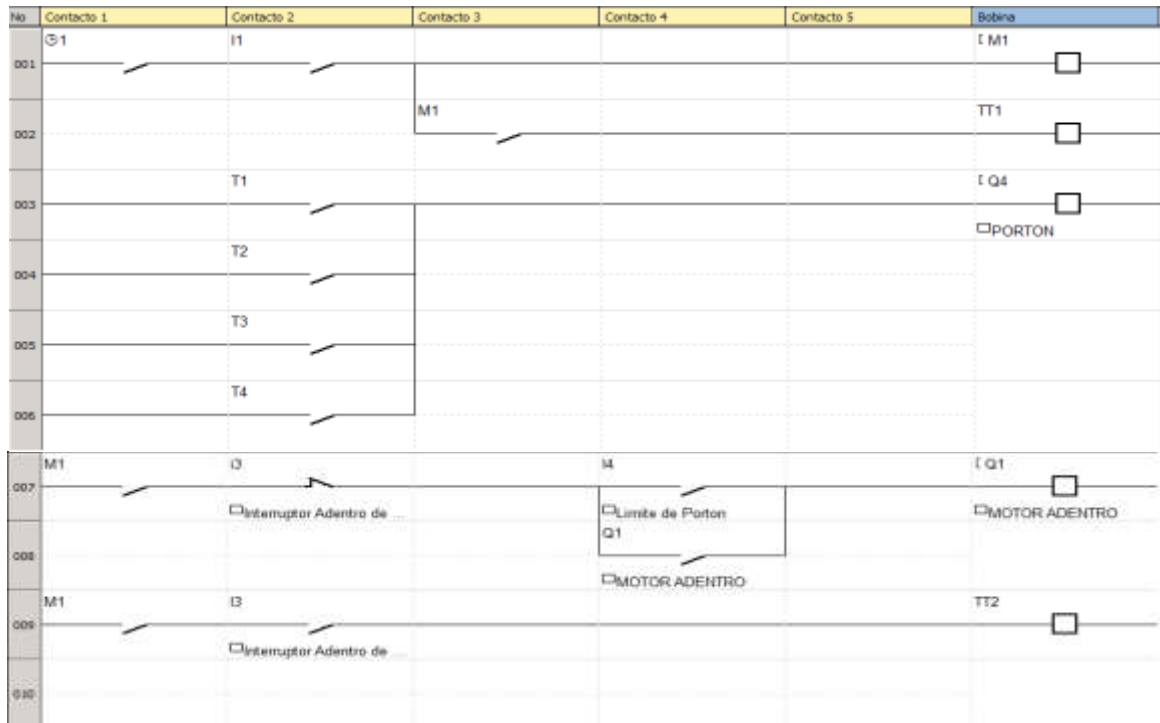
Cuadro 9. Programa para elemento de control para inducción de luz



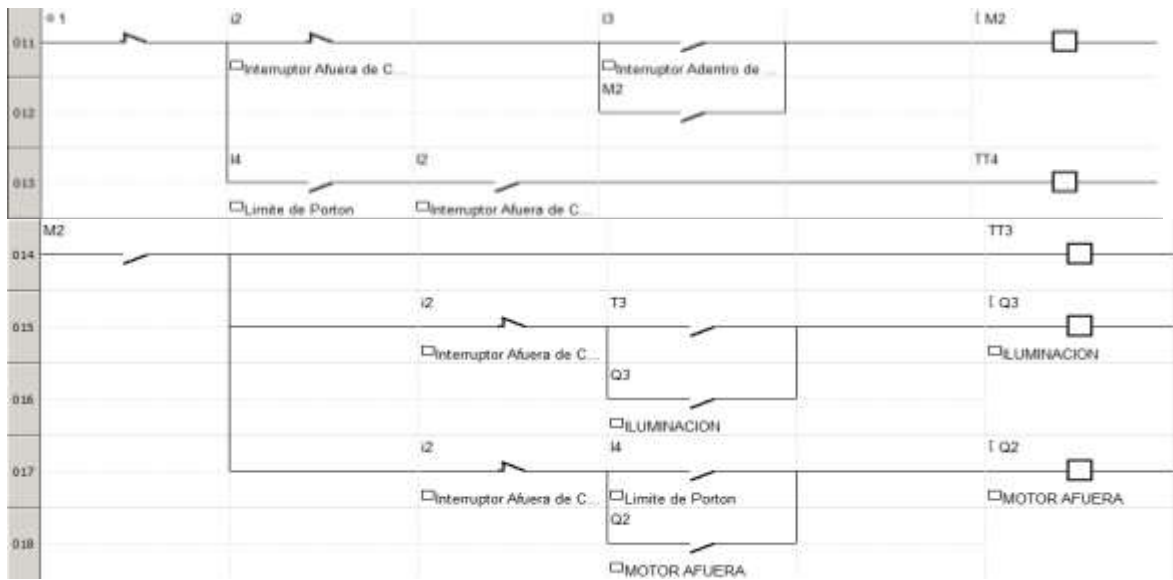
Continuación Cuadro 9



Cuadro 10. Programa para elemento de control para aumentar oscuridad



Continuación Cuadro 22



Luego de elaborar los programas, se cargaron al Zelio desde la PC vía USB.

Figura 23. Carga de programa desde PC hacia Zelio



VII. RESULTADOS

Se automatizó de forma parcial la cámara de fotoperiodo de CENGICAÑA y funcionó de manera eficiente durante los meses de inducción de luz (mayo a octubre).

Dimensiones de la cámara de fotoperiodo:
Largo 20.85 mts, ancho 4.75 mts, altura 6.37 mts.

Figura 24. Cámara de fotoperiodo exterior
Fase 3 - 2015



Figura 25. Cámara de fotoperiodo interior
Fase 3 – 2015



Figura 26. Carretón de cámara de fotoperiodo
etapas de crecimiento de la caña de azúcar
Fase 3, 2015



VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se implementó un sistema automatizado en la cámara de fotoperíodo en CENGICAÑA, un carretón entra eficientemente con 16 variedades de caña de azúcar a la estructura en el tiempo programado para inducirle luz y de la misma manera sale a la hora programada.

La estructura tiene las dimensiones, largo 20.85 mts, ancho 4.75 mts, altura 6.37 mts; además la cámara cuenta con un portón el cual abre con dos brazos eléctricos los cuales son detenidos con un final de carrera.

Un carretón móvil entra y sale de la casa movilizado por un motor acoplado a un reductor y sistema mecánico, éste es detenido con switch de límite al entrar y salir completamente; y un sistema de iluminación todo esto controlado desde un dispositivo de control tipo relé inteligente en el cual se programan los horarios de proceso.

La luz artificial se programará dependiendo de la cantidad de horas luz que necesiten las plantas y a la vez la cámara de fotoperíodo servirá para darle oscuridad a las plantas de caña de azúcar por la mañana cuando el proceso así lo requiera.

IX. CONCLUSIONES

- La implementación de un sistema automatizado en la cámara de fotoperiodo mejoró con los elementos mecánicos y eléctricos de manera significativa el proceso de entrada y salida del carretón.
- Los horarios programados en el Zelio se realizaron de manera efectiva y el proceso funcionó con períodos precisos de inducción de luz, además se eliminó la falta de precisión humana en el control de los tiempos.
- Se logró la cantidad óptima de inducción de luz en la cámara de fotoperiodo y los resultados de la floración serán evidentes en los meses de noviembre y diciembre del año 2015.

X. RECOMENDACIONES

- Para poder tener un sistema de automatización total se recomienda instalar un dispositivo de control más avanzado ya que el Autómata instalado no tiene la capacidad para guardar horarios en fechas predeterminadas, por ser relé inteligente solamente ejecuta secuencias en horarios establecidos, se recomienda utilizar un micro plc para poder agregar fechas y reducir la intervención humana en el cambio horarios. Para hacer aún más eficiente el sistema y ser más preciso se puede instalar un switch de luminosidad el cual accione después de un horario establecido y al disminuir el lumen del ambiente.
- Como sistema de seguridad se debe instalar un final de carrera adicional en la hoja izquierda del portón para así prevenir posibles impactos entre el carretón y el portón y de igual manera instalar dos limit switch en la entrada y salida del carretón para evitar posibles impactos por fallas de los ya instalados.
- Realizar continuo monitoreo del sistema de iluminación para mantener un nivel de luminosidad óptimo en la cámara de fotoperíodo.
- Realizar mantenimiento preventivo del motor del carretón así como el reductor y elementos mecánicos.

XI. BIBLIOGRAFÍA

Rubén Saavedra Silveira, 2009, *Automatización de viviendas y edificios*, Barcelona, España, Ediciones Ceac, Planeta DeAgostini profesional y formación, S.L.

Humbert R. P, 1974, *El cultivo de la caña de Azúcar*, México, Compañía Editorial Continental S.A.

Mario Melgar, Adlai Meneses, Héctor Orozco, Ovidio Pérez, Rodolfo Espinoza, 2003, *El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala*, Guatemala, Editorial Artemis Edinter, 512 págs.

Subirós Ruiz, Fermín, 1995, *El cultivo de la caña de azúcar*, San José Costa Rica, Editorial Estatal a Distancia, 417 págs.

Tecnicaña, 1984, *Estabilidad fenotípica de variedades de caña de azúcar*, Cali Colombia, Editorial XYZ, Amaya, A. y Cassallet, C.

F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz, 2008, *Fundamentos de la técnica de Automatización*, Alemania, Festo Didactic GmbH & Co. KG, 106 págs.

Intecap, 2010, *Integración de procesos*, Guatemala, Código MT.3.4.2-638/09, 99 págs.

Zelio Logic 2 Módulo Lógico, manual del usuario, SR2 MAN 01, 11/2007.

XII. ANEXOS

FLORACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR Y SU MANEJO.

José Luis Quemé – El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala.

El crecimiento de las angiospermas se divide en dos etapas: a) vegetativa y b) reproductiva, la primera se refiere al desarrollo de raíces, tallos y hojas, y la segunda está relacionada con la formación de flores, frutos y semillas.

El crecimiento reproductivo se divide en dos estados: a) floración y b) fructificación, los cuales son distintos morfológica y fisiológicamente. Además de los factores ambientales, el crecimiento vegetativo y el estado de fructificación están determinados por las condiciones nutritivas de la planta, mientras que la floración parece estar principalmente gobernada por hormonas. (Meyer et al., 1970).

La floración en la caña de azúcar se da cuando, en ciertas condiciones, el punto de crecimiento suspende la formación de primordios foliares e inicia la producción de un primordio floral, de este modo se da el cambio vegetativo a reproductivo. Este cambio trae como consecuencia la suspensión de la formación de entrenudos, y una vez que los entrenudos jóvenes se han expandido el crecimiento se detiene. Las variedades con flor acumulan más fibra en los entrenudos superiores y se manifiesta en el desarrollo de la médula (Bakker, 1999). La médula corchosa se extiende de arriba hacia abajo y cuando se procesa el tallo hay una mayor producción de fibra y bajo rendimiento de azúcar (Larrahondo y Villegas, 2009).

El efecto de la floración en el rendimiento de la caña y azúcar depende principalmente de los siguientes factores: 1) Intensidad de la floración. 2) Edad del cultivo en que aparece la floración. En este caso, el efecto de la floración es mayor cuando se presenta en plantas jóvenes, no así cuando la floración se da en el periodo de maduración, en donde el efecto de la floración sobre el rendimiento de caña es mínimo y el contenido de azúcar puede aumentar. 3) Período de tiempo entre la floración y la cosecha. En las cosechas tardías existe un aumento en el contenido de corcho (disminuye el peso del tallo), la dominancia apical se pierde y se inicia la brotación de las yemas laterales (lalas), esto último reduce el contenido de sacarosa en el tallo (Bakker, 1999; Larrahondo y Villegas, 2009).

En Guatemala, como en otros países productores de azúcar de caña, para contrarrestar el efecto negativo de la floración se manejan algunos de los factores que inciden en ella. En el presente capítulo se hace una breve descripción de algunos de los factores que afectan la floración y de técnicas de manejo empleadas para reducir su efecto negativo.

1. FACTORES QUE AFECTAN LA FLORACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR. La floración de la caña de azúcar está influenciada por factores externos e internos, tales como: el fotoperíodo, temperatura, insolación o brillo solar, latitud, altitud, nutrientes y humedad del suelo, edad fisiológica, sensibilidad de la variedad para florecer, hormonas, fitocromos y otros (Araldi, 2010; Alexander, 1973; Castro, 1998; James y Miller, 1972; Morales, 1996; Soto, 1999; Viveros, 1990).
 - c. Fotoperíodo: Es uno de los factores más predominantes que influyen en el proceso de la floración (Alexander, 1973). En relación con el fotoperíodo, la caña de azúcar se comporta como una planta de día corto (Araldi, 2010; Arrivillaga, 1988). Lo anterior implica que la inducción de la floración se propicia cuando la longitud de la noche (Nictoperíodo) es preponderante y de una duración superior a un nivel crítico. Alexander (1973) menciona que la longitud del día de 12 h 28 min (Nictoperíodo de 11 h 32 min) es la más cercana para la inducción de la floración. Esto concuerda con lo reportado por Nuss y Berding (1999), quienes indican que la floración de la caña de azúcar es inducida mediante la disminución lenta de la longitud del día a partir de 12 h 30 min. Además mencionan que la floración es mucho mejor en áreas donde la longitud del día disminuye a una tasa de 30 a 60 segundos por día, a partir de 12 h 45 min. Quemé et al., (2011) mencionan que de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) de Guatemala, relacionados con salidas y puestas del sol; las 12 h 30 min ocurren naturalmente en Guatemala entre el 23 y 25 de agosto. En un estudio realizado en el estrato medio de la zona cañera guatemalteca, en donde se consideró el fotoperíodo de 12 h 30 min y la longitud promedio de la inflorescencia inicial, se determinó que la recepción del estímulo para la inducción floral y la iniciación del primordio floral en la variedad CP72-2086 se pudo haber dado en el período comprendido del 16 al 31 de agosto (Quemé, 2008).
 - d. Sensibilidad de la variedad para florecer: Entre los factores que afectan la floración de la caña de azúcar y que permiten su manejo está considerado la sensibilidad del genotipo al estímulo floral. Bajo las condiciones climatológicas de Guatemala, la Agroindustria Azucarera cuenta con variedades específicas que, aunque las condiciones favorezcan la floración natural, pueden variar en su incidencia de floración. Algunos ejemplos de variedades con alto porcentaje de flor son CP73-1547, CP72-1312, CP88-1508, de floración intermedia: CP88-1165, CP72-2086 y de nula o escasa floración: PR75-2002 (Quemé et al., 2011). En la parte comercial se comprueba que el comportamiento de la intensidad de la floración es varietal. En ingenio Palo Gordo para la zafra 2010-2011, se verificó que la variedad CP72-2086 mostró en promedio 46 por ciento de floración, mientras que la variedad CP88-1165 mostró 23 por ciento (Guzmán, 2011).

1. **MANEJO DE LA FLORACIÓN:** En Guatemala se ha tratado de disminuir el efecto negativo de la floración mediante la regulación de algunos factores mencionados anteriormente. El manejo varietal y el uso de compuestos químicos inhibidores de la floración son los principales factores susceptibles de ser controlados. La Agroindustria Azucarera de Guatemala ha clasificado sus variedades acorde a sus períodos de siembra y cosecha en tercios. El primer tercio comprende de noviembre y diciembre, el segundo tercio, enero y febrero, y el tercer tercio marzo y abril. Cada uno de los tercios anteriores aplica para cada uno de los cuatro estratos altitudinales de la zona cañera. La clasificación de las variedades (comerciales y semicomerciales) se ha realizado con base en los siguientes criterios: a) ubicar las variedades con alta incidencia de flor (>50%) en el primer tercio, b) Variedades con incidencia de floración intermedia (20-50%) para el segundo tercio y c) variedades con baja o nula incidencia de floración (<20%) para el tercer tercio. Sobre la base de estos criterios la Agroindustria Azucarera Guatemalteca dispone de una matriz denominada Directorio Varietal, el cual se describe en el capítulo de fitomejoramiento.

XIII. GLOSARIO

1. Automatización: Aplicación de máquinas o de procedimientos automáticos en la realización de un proceso o en una industria.
2. CENGICAÑA: Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar
3. CENICAÑA: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia.
4. CINCAE: Centro de Investigación de Caña de Azúcar del Ecuador
5. Control Lógico: Sistema Industrial de Control Automático que trabaja bajo una secuencia almacenada en memoria, de instrucciones lógicas.
6. Final de Carrera: Dispositivo eléctrico situado al final del recorrido o de un elemento móvil, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito.
7. Fluorescente: Que se produce por fluorescencia. Se restringe a la luminiscencia causada por rayos ultravioleta.
8. Fotoperíodo: Parte del día en que un ser vivo está expuesto a la luz.
9. IAC: Instituto Agronómico Campinas de Brasil
10. Incandescente: Que adquiere un color rojo o blanco por haber sido sometido a altas temperaturas, especialmente el carbón y los metales.
11. INSIVUMEH: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
12. Latitud: Distancia angular que hay desde un punto de la superficie de la Tierra hasta el paralelo del ecuador; se mide en grados, minutos y segundos sobre los meridianos.
13. Microcontrolador: Circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada y salida y periféricos.
14. Micro PLC: Control Lógico Programable.
15. Motor eléctrico: Máquina que transforma una energía en movimiento.
16. Nictoperíodo: Período en que un ser vivo está expuesto a la oscuridad.
17. Relé: Dispositivo electromagnético que, estimulado por una corriente eléctrica muy débil, abre o cierra un circuito en el cual se disipa una potencia mayor que en el circuito estimulador.
18. Switch eléctrico: Dispositivo que permite desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica.
19. Tomacorriente: Dispositivo de corriente eléctrica, generalmente fijado a la pared, donde se conectan los distintos enchufes de los artículos eléctricos.
20. Zelio: Dispositivo electrónico programable, el cual está destinado a gobernar dentro de un entorno industrial (generalmente maquinas o procesos lógicos y/o secuencias). El cual se compone por 4 grupos principales: Entradas, salidas, procesador y memoria.