

**Centro de Enseñanza Técnica y Superior, CETYS  
Universidad**



---

**Maestría en ingeniería e innovación**

---

**Caracterización de cromaticidad en diodos emisores de luz  
para la producción de espectaculares**

Tesis  
para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en ingeniería

Presenta:

**Osmar Javier Rivera Haro**

Tijuana, Baja California, México  
2020

Tesis defendida por  
**Osmar Javier Rivera Haro**

y aprobada por el siguiente Comité

---

Firma

---

**Grado académico y nombre completo**

Director de tesis o codirectores

Miembros del comité

---

**Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx**

Grado académico y nombre completo  
Sinodal

---

**Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx**

Grado académico y nombre completo  
Sinodal

---

**Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx**

Grado académico y nombre completo  
Sinodal

---

**Dr. Xxxx Xxxx Xxxxx**

Coordinador del Posgrado

---

**Dr. Xxxx Xxxx Xxxxx**

Director de Escuela de Ingeniería

*Osmar Javier Rivera Haro © 2020*

*Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.*

Resumen de la tesis que presenta Osmar Javier Rivera Haro como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en ingeniería e innovación.

## **Caracterización de cromaticidad en diodos emisores de luz para la producción de espectaculares**

La tecnología LED es ampliamente utilizada hoy en día y al ser relativamente nueva se conoce muy poco las afectaciones que presenta este a través del tiempo y calentamiento, así como su dispersión en la cromaticidad (Cantidad de color de la luz determinada por su longitud de onda dominante y su pureza) debido a estos, lo que afectaría directamente a la calidad de imagen y al tiempo de vida del producto.

Esta tecnología requiere de un proceso de calibración de pantallas LED el cual muy complejo que involucra múltiples variables que afectan los resultados de la calibración, así como el aspecto visual del producto. A través de múltiples estudios previos se ha venido planteando sobre la posibilidad de predecir el comportamiento de la luminancia y la temperatura de color del LED bajo condiciones controladas.

A través de un control del ambiente, así como de un análisis de muestreo e interpretación de resultados se aplicarían correcciones/ mejoras a los procesos previos de la calibración sin afectar el resultado de este proceso, así como la apariencia del producto.

En esta tesis se comprobará que es posible la caracterización del comportamiento de la luminancia y cromaticidad del led bajo condiciones controladas de temperatura y tiempo de calentamiento, teniendo como resultado la disminución del tiempo de calibración sin afectar la cromaticidad y la luminancia del mismo. Esto a su vez favorece la producción de espectaculares a través del Aumento de la capacidad de producción, disminución de tiempos de entrega, menor consumo energético y estandarización del proceso

Resumen aprobado por:

Firma

Grado académico y nombre completo del director de tesis o codirectores  
Director de tesis

**Palabras clave: LED, Color de temperatura, cromaticidad, calibración.**

Abstract of the thesis presented by Osmar Javier Rivera Haro as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in engineering and innovation.

## **Chromaticity characterization in light emitting diodes for the production of spectacular**

LED technology is widely used today and being relatively new, very little is known about the effects that it presents through time and heating, as well as its dispersion in chromaticity (Amount of color of light determined by its wavelength dominant and its purity) due to these, which would directly affect the image quality and the life of the product.

This technology requires a very complex LED screen calibration process that involves multiple variables that affect the calibration results, as well as the visual appearance of the product. Through multiple previous studies, it has been raised about the possibility of predicting the luminance behavior and color temperature of the LED under controlled conditions.

Through a control of the environment, as well as a sampling analysis and interpretation of results, corrections / improvements will be applied to the previous calibration processes without affecting the result of this process, as well as the appearance of the product.

In this thesis it will be verified that it is possible to characterize the behavior of the luminance and chromaticity of the LED under controlled conditions of temperature and heating time, resulting in a decrease in the calibration time without affecting its chromaticity and luminance. This in turn favors the production of billboards through the Increase in production capacity, decrease in delivery times, lower energy consumption and standardization of the process.

Abstract approved by:

Firma  
Grado académico y nombre completo del director  
Thesis Director

**Keywords: LED, Color temperatura, chromaticity, calibration.**

## **Dedicatoria**

A mi familia y en especial a mi madre por haber estado presente en todo momento ya que todos mis logros en los cuales incluyo este es debido a su apoyo incondicional.

## Agradecimientos

*En primer lugar, quiero agradecer a mi madre María del Pilar Haro Vázquez, quien con sus conocimientos y apoyo me guio a través de cada una de las etapas de este proyecto para alcanzar los resultados que buscaba.*

*También quiero agradecer a la empresa "Samsung Mexicana" por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proceso de investigación. No hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por su incondicional ayuda.*

*Al igual que a Conacyt por el apoyo económico brindado durante el transcurso de la maestría.*

# Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	ix
<b>Capítulo 1. Introducción</b>	
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Hipótesis .....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo general .....	7
1.3.2 Objetivos específico.....	7
<b>Capítulo 2. Marco Teórico</b>	
2.1 Diodo emisor de Luz .....	8
2.2 Funcionamiento del LED .....	10
2.3 Materiales Semiconductores .....	10
2.4 Calibración de pantallas .....	12
2.5 Temperatura de Color .....	13
2.6 Estándar CIE 1931 .....	14
<b>Capítulo 3. Parte Experimental</b>	
3.1 Materiales .....	16
3.2 Metodología .....	21
<b>Capítulo 4. Resultados y Discusión</b>	
4.1 Resultados .....	33
4.2 Discusiones .....	40

**Capítulo 5 . Conclusiones**

5.1 XXXXXXXX.....	44
<b>Cronograma .....</b>	<b>45</b>
<b>Literatura citada.....</b>	<b>46</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>47</b>

## Lista de figuras

Figura		Página
1	Distribución del LED Amber .....	3
2	Predicción de error máximo absoluto para método propuesto de CCT.....	4
3	Comparación de lúmenes medidos a 0hr y 2000hr .....	5
4	Comparación entre las longitudes de onda de 2 tipos de blanco (frio y cálido) a diferentes horas de envejecimiento .....	6
5	Distribución del espectro electromagnético .....	13
6	Diagrama Cromático CIE .1931 .....	15
7	Prometric I16 .....	16
8	CS-2000 espectro radiómetro .....	17
9	CS-200 espectro radiómetro .....	17
10	Aire acondicionado portátil marca Frikko .....	18
11	Interfaz del programa PVsystem .....	18
12	Interfaz del programa CS-S10w .....	19
13	Interfaz Y8 .....	20
14	Diseño del cuarto de calibración .....	21
15	Grafica de la temperatura esperada .....	22
16	Grafica esperada de luminancia .....	23
17	Luminancia vs Tiempo .....	23
18	Interfaz del programa VisionCal .....	24
19	Función subframe en la cual se indica la posición del gabinete .....	24
20	mediciones en el programa Cs-s10w .....	25
21	Función “Four color calibration” .....	25
22	Configuración del modelo en el programa VisionCal .....	26
23	Parámetros de objetivos y tolerancias en el Programa VisionCal .....	26

24	Vista del gabinete a través de la función “Focus” .....	27
25	Vista del LED a través de la función “focus” .....	27
26	Vista del LED mal enfocado y con desfase .....	28
27	Las 4 etapas de calibración .....	28
28	Función detección de pixel .....	29
29	Error en la detección de LEDS .....	29
30	Función “Corrección de Pixel” .....	30
31	Función “envío de datos a pantalla” .....	30
32	Diferencia visual entre un gabinete sin calibrar y uno calibrado .....	31
33	Resultado de la calibración en VisionCal .....	31
34	Objetivos de calibración para el programa Cs-s10w .....	32
35	Resultados de las mediciones con el espectro radiómetro CS-200 .....	33
36	Temperatura del cuarto de calibración .....	34
37	Variación de LV en 48 horas .....	34
38	Variación de Cx en 48 horas .....	35
39	Variación de Cy en 48 horas .....	35
40	Variación de Luminancia durante todo el proceso .....	39
41	Variación de temperatura en cuarto de calibración .....	41
42	Resultados de calibración al termino de 12 horas de calentamiento .....	42
43	Comportamiento de luminancia en prueba de encendido/apagado .....	43

## Lista de tablas

Tabla		Página
1	Comparativa de Tipos de lámparas comunes .....	9
2	Materiales usados para la fabricación de Diodos emisor de luz en el espectro visible e infrarrojo .....	11
3	<i>Resultados de Lv, Cx, Cy y CT conforme al tiempo .....</i>	36
4	<i>Diferencia de CT (48Hrs-CT en función del tiempo .....</i>	36
5	<i>Resultados de calibración modelo P8 LED Vendor A .....</i>	37
6	<i>Resultados de calibración modelo P6 LED Vendor B .....</i>	38
7	<i>Calculadora de compensación de objetivo .....</i>	39
8	<i>Resultado de la calibración con compensación .....</i>	40
9	<i>Diferencia de CT (48Hrs-CT en función del tiempo) .....</i>	41
10	<i>Diferencia de CT (48Hrs-CT en determinado tiempo) .....</i>	42
11	<i>Resultado de calibración sin calentamiento .....</i>	44

## Capítulo 1. Introducción

---

El ojo humano es casi perfecto y es la base de referencia para la fabricación y mejoras de cámaras, dado que la retina es una gran herramienta ya que ordena cantidades masivas de datos mientras opera con solo una fracción de la potencia que una cámara digital y una computadora convencionales necesitarían para hacer la misma tarea. Tan perfecto es el ojo humano que una persona en promedio puede distinguir hasta 8 millones de diferentes colores, con lo cual cualquier cambio en el un color es capaz de percibirse, de ahí radica la importancia de la calibración de las pantallas LED (Diodo emisor de luz) para disminuir esos efectos.

La tecnología LED es ampliamente utilizada hoy en día y al ser relativamente nueva se conoce muy poco las afectaciones que presenta este a través del tiempo y calentamiento, así como su dispersión en la cromaticidad (Cantidad de color de la luz determinada por su longitud de onda dominante y su pureza) debido a estos, lo que afectaría directamente a la calidad de imagen y al tiempo de vida del producto.

La importancia del trabajo radica en reducir el proceso de calentamiento/envejecimiento de un producto LED, así como mejorar la calibración del mismo, lo que se traducirá en beneficios que se obtendrían a nivel productivo como económico para la empresa gracias al análisis e interpretación de estudio sobre el comportamiento de los LEDs.

El alcance del estudio comprende en la obtención y medición en un mismo producto distintas muestras de LEDs de diferentes vendedores, las cuales se dejan en un proceso de calentamiento/ envejecimiento por un tiempo de 48 horas para posteriormente evaluar los resultados y aplicar en base a estas mejoras en el proceso de calibración para linealizar la degradación de los LEDs a través del tiempo no afecte la calidad de imagen.

## 1.1 Antecedentes

Desde la invención de la televisión con los CRT constantemente se ha estado innovando la tecnología para mejorar las características de las pantallas como la calidad de imagen, luminancia, consumo energético y peso. Hoy en día tenemos pantallas en casi cualquier lado desde estadios deportivos, espectaculares hasta en aeropuertos, todas estas pantallas en diferentes condiciones de ambiente y es posible gracias a los LED's

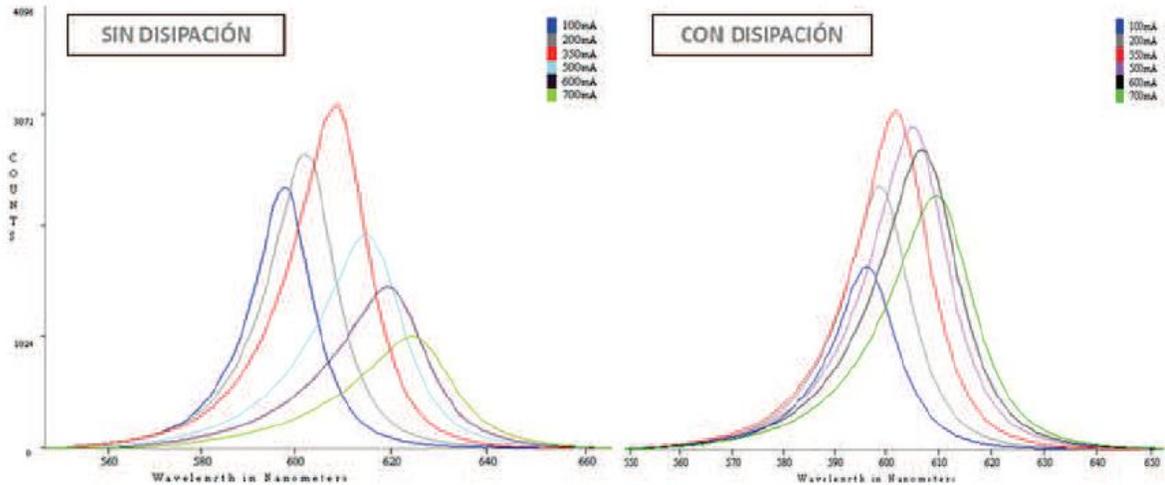
### **Estudio sobre el mantenimiento de color en LEDS en aplicaciones de laboratorio y campo**

Royer y colaboradores (2013) realizaron un estudio a múltiples productos LED's para describir los mecanismos conocidos de cambio de color y proporcionar orientación sobre cómo controlar el rendimiento de los productos LED. En este estudio se obtuvo como resultado que muchos factores contribuyen a la variación en el rendimiento del mantenimiento del color de las lámparas led y luminarias, incluida la construcción de los propios paquetes de LED, es difícil predecir qué productos podrían tener mayor estabilidad de color que otros, a su vez este estudio propone que el trabajo futuro sobre el cambio de color deberá incluir:

1. Desarrollo continuo de la tecnología de paquete LED para mejorar la estabilidad del color.
2. Desarrollo de estándares para predecir el rendimiento del cambio de color a largo plazo a partir de un nivel más limitado.
3. Investigación de la interacción de múltiples factores que afectan la estabilidad del color del LED completo.
4. Educación dentro de todos los segmentos de la industria de la iluminación sobre el tema del cambio de color y herramientas para comunicarlo adecuadamente.
5. Inclusión más generalizada del cambio de color en las garantías del producto, de conformidad con un acuerdo acordado.

Simultáneamente, S.Patirnac y colaboradores (2013) realizaron un estudio de la relación existente entre las características del color y la temperatura que se alcanza en el diodo. Dando como resultado que el aumento de temperatura de funcionamiento, Genera un cambio en el color que no afecta por igual a todos los LED's. Estos cambios pueden ser variaciones en la longitud de onda y variaciones en la cromaticidad lo cual provocaría cambios notorios en el color. En el caso de los LED's blancos la temperatura de unión afecta de forma distinta el diodo emisor y la capa fluorescente, provocando una disminución de su intensidad con el aumento de la temperatura. Esto da lugar a que la radiación azul sea la dominante, provocando un aumento de la temperatura de color correlacionada (CCT) y, por ende, un cambio en el índice de reproducción cromática.

Como se menciona en el estudio la temperatura afecta directamente el comportamiento de los LED's [ilustración 1] y su apariencia. A su vez la temperatura también afecta la luminosidad de los LEDs los cuales sufren una degradación conforme al tiempo.



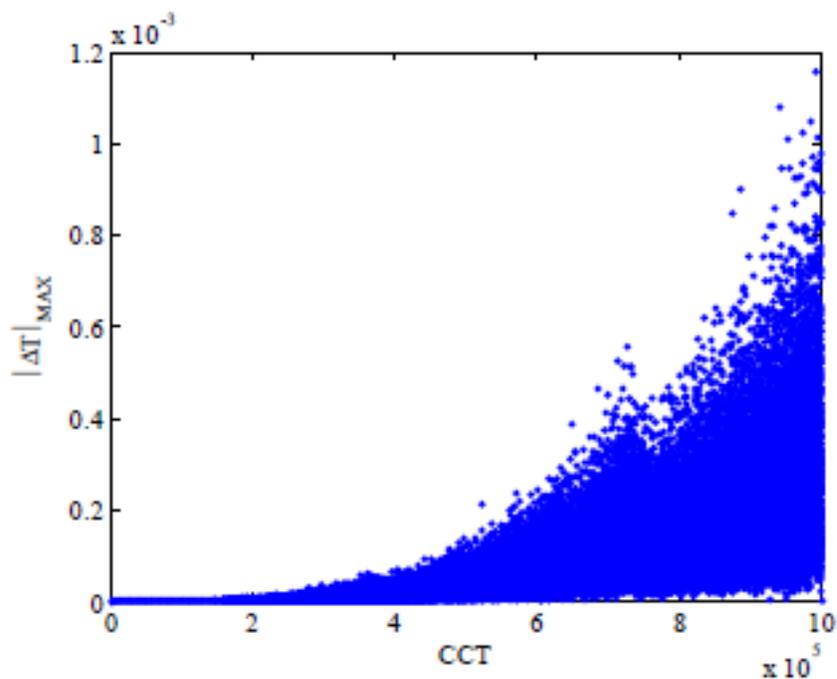
*Ilustración 1. Distribución del LED Amber.*

En el 2016 el equipo de Changjun Li y colaboradores consideraron la predicción de CCT para una fuente de luz o un iluminante determinados. Actualmente todos los métodos disponibles dan predicciones de CCT con cierta falta de precisión, que aumenta con la distancia de la fuente de luz al lugar geométrico del radiador de Planck. En una etapa inicial, se propusieron métodos simples para aproximar el CCT, el método de interpolación de Robertson basado en las líneas de isotermodura, o fórmulas explícitas de Qiu , McCamy y HernándezAndrés .

Con el aumento de la potencia computacional, propusieron métodos iterativos para una mejor predicción de CCT. Sin embargo, estos métodos utilizaron funciones aproximadas  $f$ , o derivadas primera y segunda aproximadas, para estimar  $u(T)$  y  $v(T)$ , en lugar de funciones  $u(T)$  y  $v(T)$  exactas.

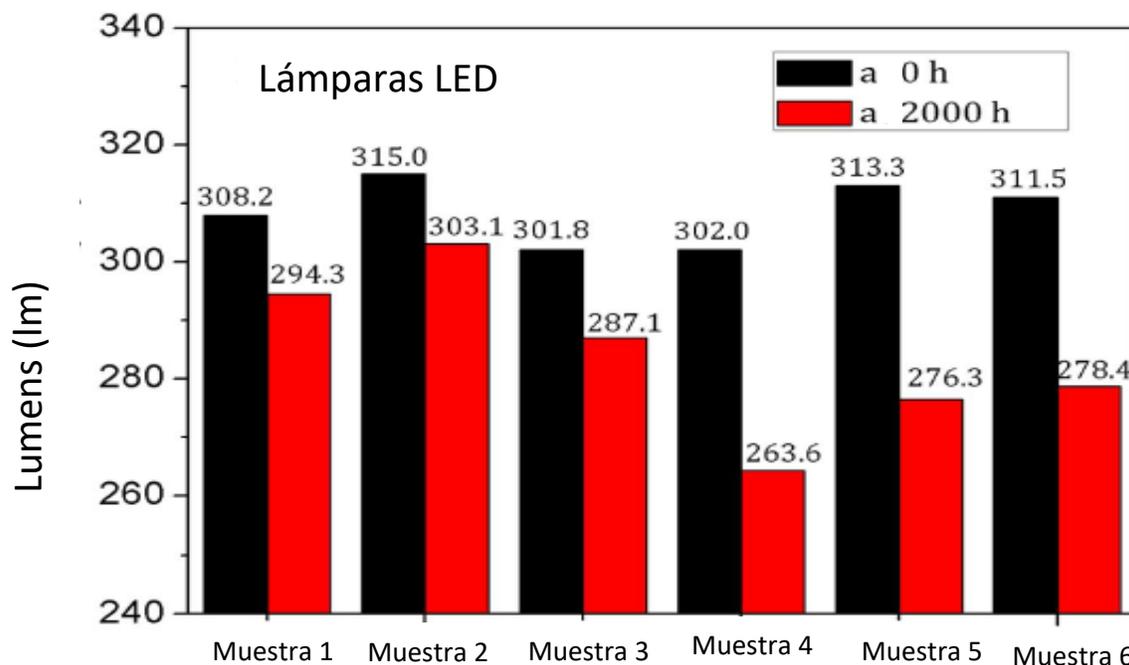
En el artículo se propuso el método de Newton para calcular el CCT. Este método encuentra la temperatura de color  $T$  satisfactoria usando la fórmula iterativa. En la cual la primera y segunda derivadas de la función  $f$  se definen y calculan con precisión siguiendo las recomendaciones actuales de la CIE para el cálculo de TSV utilizando sumas de 1 nm.

Teniendo como resultado que el método propuesto proporciona predicciones CCT con una precisión inferior a 0,0012 K (ilustración 2), siempre que la distancia entre la cromaticidad de una fuente de luz de prueba y el locus espectral del radiador de Planck no sea superior a  $5,0 \times 10^{-2}$  en el diagrama UCS de CIE 1960.



*Ilustración 2. Predicción de error máximo absoluto para método propuesto de CCT*

Más adelante, Hong-Liang y colaboradores (2017) evaluaron la degradación de la luminancia de lámparas de diodos emisores de luz, sometiéndolas a una prueba de envejecimiento acelerado de 2000 horas a temperaturas de 25 ° C y 85 ° C. Dando como resultado que la degradación de la luz de las lámparas es de 3.8% a 4.9% para el grupo bajo una temperatura de 25 ° C y de 10.6% a 12.7% para el grupo bajo una temperatura de 85 ° C [ilustración 3].



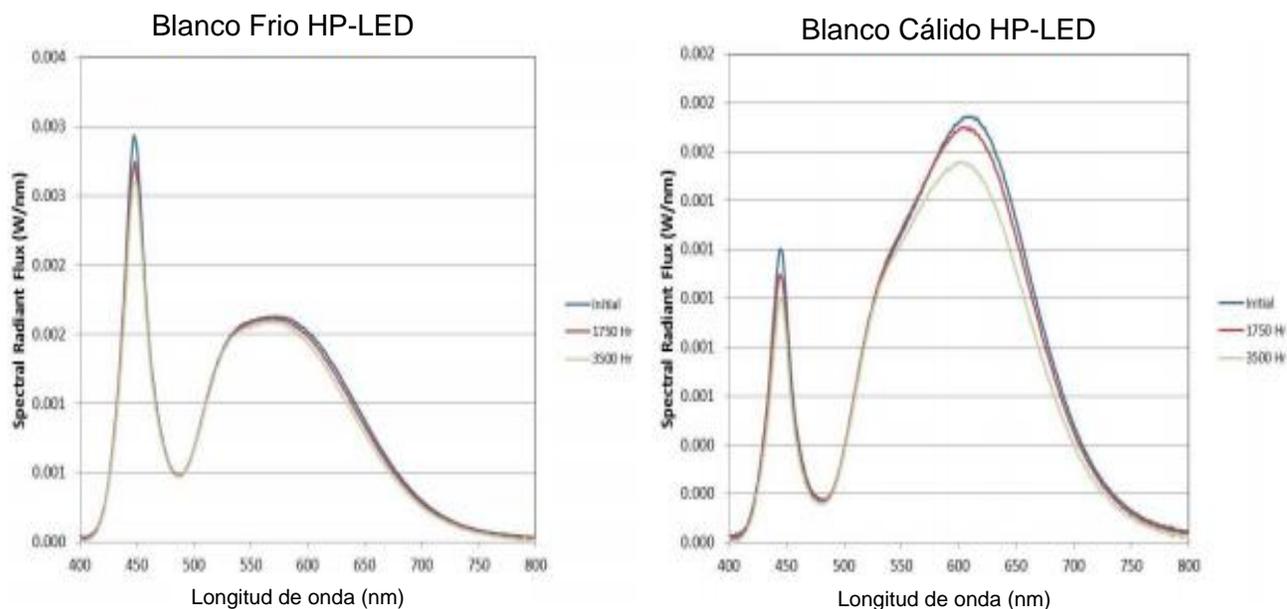
**Ilustración 3.** Comparación de lúmenes medidos a 0hr y 2000hr

Por su parte A. Estrada-Hernández y colaboradores (2008) han examinado las características de los LED's y algunas de las magnitudes que la CIE recomienda para su caracterización. Teniendo como resultado que la diferencia obtenida es alrededor del 5 % en los LEDs de color blanco y de más del 20 % en los de color. En los LEDs blancos la variación es menor ya que su espectro de emisión abarca todo el intervalo de 380 nm a 750 nm, a diferencia de los LEDs de color que solo emiten en longitudes de onda específicas.

En el 2017 el equipo del Dr. Lynn Davis y el departamento de energía de Estados Unidos realizaron un estudio en el cual analizan los cambios de cromaticidad en los paquetes de LED's y sus afectaciones dependiendo de los materiales y la construcción del paquete.

Como resultado del estudio llegaron a la conclusión que los cambios de cromaticidad pueden progresar en un patrón bastante predecible dependiendo de la temperatura de la unión, la temperatura ambiente, la densidad del flujo óptico y la presencia de humedad para las partículas de fósforo y el material aglutinante vecino también afectan la velocidad del cambio de cromaticidad.

A altas temperaturas y largos tiempos de operación [ilustración 4], los materiales en el paquete pueden decolorarse, agrietarse o de laminarse, lo que conduce a un cambio de cromaticidad y una depreciación de la luz.



*Ilustración 4. Comparación entre las longitudes de onda de 2 tipos de blanco (frío y cálido) a diferentes horas de envejecimiento*

## 1.2 Hipótesis

Con el calentamiento de 12 horas se logra la estabilización de la degradación del LED con lo cual las variaciones de luminancia y cromaticidad serán de +/- 5 % al término de la calibración.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Reducir el tiempo del proceso de calentamiento/ envejecimiento del producto de 48 horas a 12 horas sin afectar el resultado de la calibración, así como la calidad de la imagen a largo plazo, todo esto derivado de una caracterización del comportamiento del LED.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar un mejor proceso de calibración
- Estimar la capacidad de producción a partir de la reducción del proceso de calentamiento.
- Capacitación Teórica-Práctica para el uso del programa Vision Cal®.
- Capacitación Teórica-Práctica para el uso del programa PV System.
- Capacitación Teórica-Práctica para el uso del programa CS-S10w®.

## Capítulo 2. Marco teórico

---

El proceso de calibración es un proceso muy delicado el cual se ve afectado por la luz exterior, temperatura del cuarto de calibración, cámaras de medición y gabinete. Estas afectaciones pueden tener una repercusión muy grande en la calibración afectando la cromaticidad y la temperatura de color (dominancia de alguno de los colores del espectro lumínico sobre los demás) lo que provoca que exista discrepancia en la imagen entre gabinetes al formar un espectacular.

Se pretende mejorar el proceso de calibración de estos espectaculares analizando el comportamiento del envejecimiento de los diodos LED y reduciendo la dispersión de la cromaticidad entre los gabinetes que conforman un espectacular.

Los productos LED en espectaculares son una tecnología relativamente nueva a la cual la empresa se está incorporando. Al ser un producto nuevo para la empresa los procesos de calibración y envejecimiento no están definidos y demoran mucho tiempo, lo cual provoca recalibraciones y pérdida de productividad. Es por esto que a través del estudio de muestras se pretende disminuir estos retrasos y mejorar la calibración del producto sin afectar la calidad visual del mismo.

### 2.1 Diodo Emisor de luz

Los LED's constituyen un tipo especial de semiconductor, el cual está especialmente diseñado para que la recombinación radiactiva domine para producir un fotón. Este proceso de recombinación radiativa de electrones inyectados eléctricamente y agujeros de las regiones de tipo n y tipo p se produce de manera eficiente en la región activa de los LED. La longitud de onda del fotón emitido depende de la energía de banda prohibida del material semiconductor en la región activa (Al Tahtamouni, 2016).

Desde el punto de vista físico un LED común se presenta como un bulbo miniaturizado, carente de filamento o de cualquier otro tipo de elemento o material peligroso, con la ventaja sobre otras tecnologías que no contamina el medio ambiente, mayor eficiencia en consumo de energía y mayor luminosidad.

La tecnología en base Diodos emisores de Luz (LED por sus siglas en inglés) hoy en día ocupa un lugar muy importante en el mundo de la iluminación. Tales han sido las mejoras de esta tecnología que han desplazado a su paso otras tecnologías como bulbos, lámparas de gas, entre otras. En la tabla #1 se muestra un comparativo de eficiencia entre diferentes fuentes de iluminación.

**Tabla 1.** Comparativa de Tipos de lámparas comunes

<b>Tipo de Luminaria</b>	<b>Lumen [lm]</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Eficiencia [lm/W]</b>	<b>CCT [K]</b>	<b>CRI</b>	<b>Tiempo de vida [Horas]</b>
<i>Incandescente</i>	900	60	15	2750	100	1000
<i>Halógeno</i>	900	45	20	3300	100	4000
<i>Lámpara fluorescente lineal</i>	2890	30	97	4100	85	25,000
<i>Lámpara fluorescente compacta</i>	950	15	63	2700	82	12,000
<i>Lámpara de alta intensidad de descarga</i>	7000	70	100	3000	87	12,000
<i>Sistema de alta intensidad de descarga</i>	7000	75	93	3000	87	12,000

Todos los diodos LED's poseen una construcción sólida. La principal característica que los diferencia de otros tipos de fuentes de luz es que no poseen filamento ni partes frágiles de vidrio, lo que les permite absorber vibraciones extremas y golpes sin llegar a romperse ni estropearse.

## 2.2 FUNCIONAMIENTO DE LEDS

El chip emisor de luz es la parte principal de un LED y se encuentra encerrado en una envoltura o cápsula de resina epoxi transparente o también tintada del mismo color de la luz que emiten, pudiendo tener formas y tamaños diferentes. Desde el mismo chip que se encuentra encerrado en el interior de la cápsula parten dos terminales que atraviesan su base y salen al exterior para que se puedan conectar a un circuito eléctrico de corriente directa (C.D.), de forma tal que el LED quede polarizado directamente.

Para crear el diodo LED, se unen dos regiones: N y P. En la juntura de las regiones se forma una barrera potencial cuya función es impedir el paso de los electrones de la región N a la P cuando no se encuentran debidamente polarizados y los electrones no poseen la suficiente energía para atravesarla.

Cuando se aplica una tensión que permite polarizar directamente a los extremos de un LED, los electrones que provienen de la fuente de suministro de corriente directa comienzan a fluir. Cada vez que un electrón en exceso con carga negativa se presente en la región N adquiere energía para poder vencer la resistencia que le ofrece la barrera de potencial, la atraviesa y se combina con un hueco positivo en exceso en la región P. En el mismo instante que ocurre esa combinación, la energía en exceso que adquirió el electrón para poder atravesar la barrera de potencial, se transforma en energía electromagnética, que se libera en forma de fotón de luz (Al Tahtamouni, 2016).

## 2.3 MATERIALES SEMICONDUCTORES

Los semiconductores son materiales que tienen una conductividad moderadamente buena, que es más alta que la de los aislantes y más baja que la de los metales. La conductividad de los semiconductores suficientemente puros decae en órdenes de magnitud cuando se enfrían de la temperatura ambiente a la temperatura del helio líquido (a temperatura cero absoluto  $-273$  grados Centígrado, la conductividad casi desaparece). Un semiconductor en un estado muy puro se asemeja a un aislante, mientras que en un estado altamente contaminado actúa como un metal (Fu, 2014).

Para la fabricación de Diodos emisores de Luz de distintos colores se necesitan distintas combinaciones de materiales semiconductores, Como por ejemplo en la tabla 2 se muestran las combinaciones más comunes.

**Tabla 2.** Materiales usados para la fabricación de Diodos emisor de luz en el espectro visible e infrarojo

Longitud de onda (nm)	Capa de material activo	Tipo	Eficiencia cuántica externa
470 (Azul)	ZnS:Al	Indirect	< .01
450-530 (Azul/Verde)	InGaN/GaN	Direct	> 5
565 (Verde)	GaP:N	Indirect	< 0.2
590 (Amarillo)	GaAsP:N	Indirect	< 0.3
590-620 (Amarillo/Naranja)	InGaAlP	Direct	> 5
610 (Naranja)	GaAsP:N	Indirect	< 0.3
630 (Naranja/Rojo)	GaAsP:N	Indirect	< 0.3
650 (Rojo)	GaAsP	Direct	< 0.5
680 (Rojo)	AlGaAs	Direct	> 5
700 (Rojo)	GaP:ZnO	Indirect	< 1
850	AlGaAs	Direct	> 5
860	GaAs	Direct	> 2
1300	InGaAsP	Direct	> 1
1550	InGaAsP	Direct	> 1

La longitud de onda se define como la distancia de una señal periódica en la que se repite un ciclo de esta señal. El ojo humano es capaz de percibir una pequeña franja de longitudes de onda que va desde los 380 nm hasta los 780nm y se le conoce como el espectro visible.

Esta misma se calcula utilizando la siguiente ecuacion (1)

$\lambda$  = Longitud de onda (metros)

c= Constante de velocidad de la luz  $3 \times 10^8$  m/s

f= frecuencia (Hz= 1/s)

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

## 2.4 CALIBRACION DE PANTALLAS

La calibración es un proceso muy importante ya que gracias a este se logra un color uniforme en la pantalla. Con la calibración se asegura de que los colores que se proyectan en la pantalla corresponden a la posición los colores dentro de una imagen.

El procedimiento de calibración en la mayoría de los casos se basa en calibración en el ambiente de uso. Todos los procedimientos requieren instrumentos de medición, así como software especializados para calibración, estos equipos varían dependiendo del uso del producto a calibrar y las especificaciones del mismo.

El proceso de calibración consiste en colocar la pantalla en el entorno operativo. El deslumbramiento en la pantalla debe minimizarse ubicándola de modo que las luces de la habitación o la luz solar no incidan directamente sobre la pantalla. La pantalla debe de estar limpia y dejarse calentar por un tiempo (varía dependiendo del producto). Al calibrar se calibra por encima de la luminancia objetivo dado que esta tiende a disminuir conforme al tiempo o temperatura del ambiente.

La precisión de la calibración suele ser muy exacta, sin embargo, se puede ver afectada por diversos factores como son el entorno de visualización, instrumento de medición y efecto de metamerismo. Este es un efecto psicofísico en el cual se tienen dos muestras de una pantalla u objeto los cuales muestran el mismo color bajo unas condiciones determinadas (fuente de luz, observador, geometría, etc.) pero no bajo variaciones en las condiciones.

### Entorno de visualización

El entorno de visualización de la pantalla es susceptible a cambios que afectan en la manera que se percibe la imagen. Un ejemplo de ellos son los cambios de la iluminación en el entorno (Luz solar, posición de pantalla respecto a luminarias), los cuales pueden provocar una pérdida de precisión en la calibración de la pantalla.

## Instrumento de medida

Los instrumentos de medición de luminancia utilizados tienen un costo muy elevado y su precisión es muy exacta, pero como todo componente electro-mecánico con el tiempo tiende a desfasarse la calibración del mismo lo que provoca variaciones en los resultados.

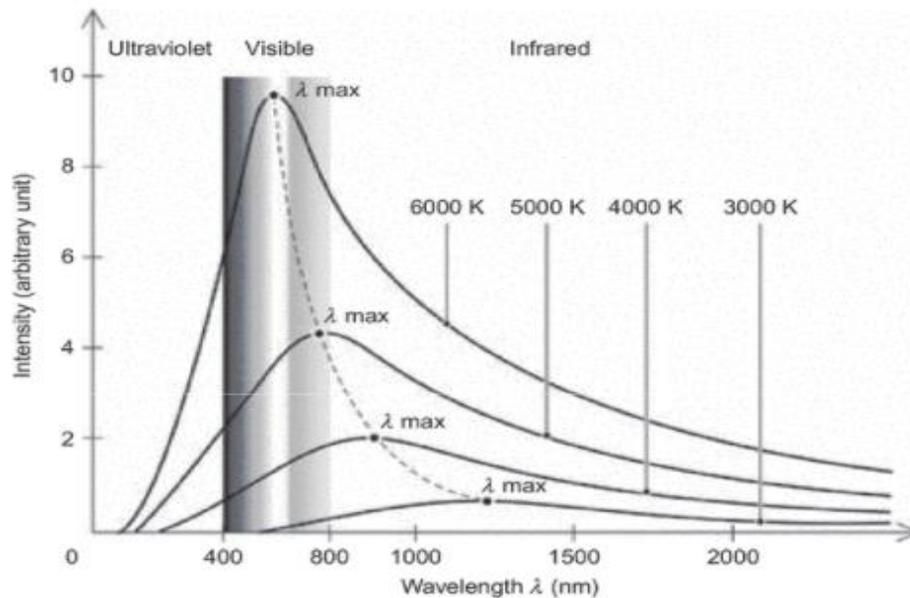
Existen múltiples instrumentos de medición de la luz:

- Luxómetros
- Iluminancímetros
- Luminancímetros
- Medidores de índice de reproducción Cromática (CRI)
- Espectroradiómetros

Siendo este último el equipo que se usara en el estudio.

## 2.5 Temperatura de color

La temperatura de color se define como el color que emite un cuerpo negro teórico (en el espectro de la luz) a temperatura determinada en grados Kelvin. A manera más simple se podría definir como la sensación que percibe el ojo humano ante una luz, siendo cálida si predomina el color ámbar o fría si predomina el azul. Esta medición solo se aplica a la luz blanca y técnicamente se define como la como “la impresión de color a ciertas temperaturas de un radiador de cuerpo negro perfecto”.



*Ilustración 5. Distribución del espectro electromagnético*

El valor de la temperatura de color se puede obtener utilizando la aproximación de Mc.Camys y los valores de cromaticidad utilizando las ecuaciones (2 y 3).

**CCT= temperatura de color correlacionada**

**Cx= Coordenada de color en X**

**Cy= Coordenada de color en Y**

$$n = \frac{Cx - .3320}{.1858 - Cy} \quad (2)$$

$$CCT = 437n^3 + 3601n^2 + 6861n + 5517 \quad (3)$$

## 2.6 Estándar CIE 1931

Este sistema fue creado por la Comisión internacional de luminancia y es un sistema que se basa en datos de medición con los cuales los colores pueden ser conseguidos mezclando las proporciones adecuadas de los tres colores primarios (rojo, verde y azul).

Para poder expresar correctamente un color en el Sistema CIE se debe de tener en cuenta dos factores los cuales son el tono y la saturación, el primero está determinado por la longitud de onda dominante, mientras que entre mayor saturación tenga un color, más cerca estará del límite externo del diagrama y entre más bajo sea la saturación (más diluido en gris), más cercana será su posición con respecto al punto neutro.

Para asegurar una exactitud completa, todos los factores implicados en la obtención de las mediciones están estrictamente estandarizados. Los resultados obtenidos son trasladados al llamado "diagrama cromático" o Diagrama CIE (ilustración 6).



## Capítulo 3. Parte Experimental

---

### 3.1 Materiales

Para poder realizar la metodología se necesitó comprar los siguientes equipos

#### Colorímetro de Imagen

El colorímetro Prometric I16 [Ilustración 7] de la empresa Radiant Vision System es usado para medir precisamente la calidad de la luz y color de una pantalla, el colorímetro captura valores cuantificables en el espacio de luminancia, contraste, uniformidad y cromaticidad (en CIE  $x, y$  y  $u', v'$ ). este equipo también es capaz de detectar defectos de mura, fuga de luz, pixeles apagados o líneas en el área de la pantalla.



*Ilustración 7. Prometric I16*

#### Espectro radiómetro

El espectro radiómetro CS-2000 de la empresa Konica Minolta cuenta con tecnología para procesar señales y diseño óptico que ofrece mediciones muy precisas de niveles de luminancia y cromaticidad aun en niveles muy bajos de luz. Este tiene la habilidad de medir contraste 100,000:1, con capacidad de primer nivel, el CS-2000 espectro radiómetro [Ilustración 8] está diseñado para medir luminancias tan bajas que llegan al rango de .003cd/m<sup>2</sup>.



**Ilustración 8.** CS-2000 espectroradiómetro

### **Espectro radiómetro CS-200**

El medidor de luminancia y color CS-200 es un colorímetro diseñado para medir la luminancia y cromaticidad con alta exactitud. Este colorímetro compacto y liviano, de bajo costo y fácil de usar, cuenta con un nuevo modo automático para la determinación de la velocidad de medición de acuerdo a la luminancia del sujeto que se está midiendo. El CS-200 permite la medición óptica de dispositivos LCDs, PDPs, ELs orgánicos, FEDs and LEDs.

Puede medir cualquier fuente de iluminación en un amplio rango de niveles de luminancia de 0.01 cd/m<sup>2</sup> a 20,000,000 cd/m<sup>2</sup>. El colorímetro CS-200 [Ilustración 9] posee ángulos de medición seleccionables de 1°, 0.2° o 0.1° según la aplicación.



**Ilustración 9** CS-200 espectro radiómetro

## Aire acondicionado portátil Frikko

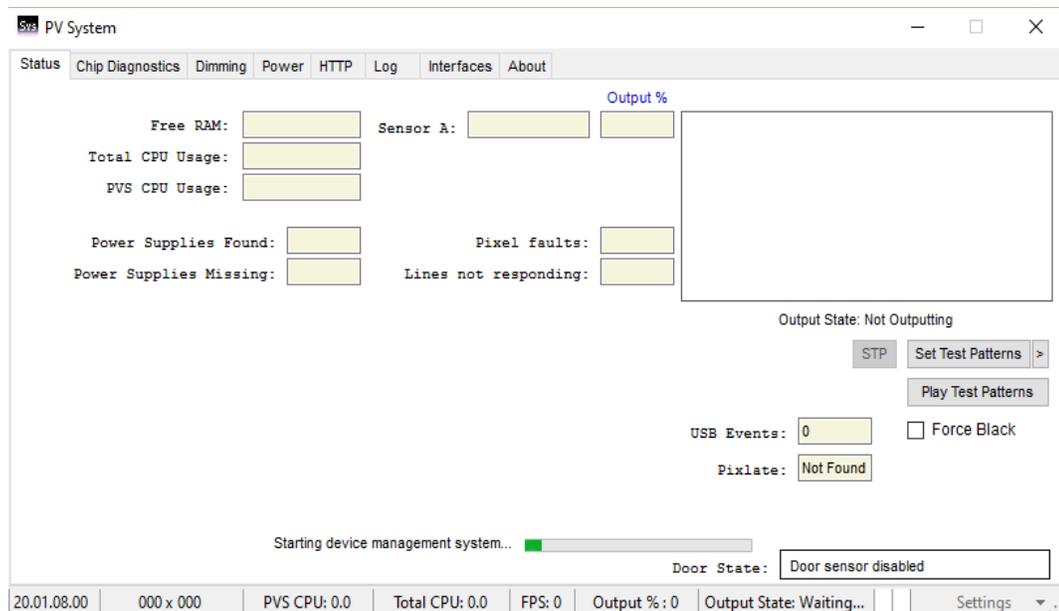
El Aire acondicionado portátil Frikko (ilustración 10) es ideal para colocar en cualquier lugar ya que permite enfriar o calentar una habitación de manera rápida y sin ruido, Lo mejor de este equipo es que la velocidad del ventilador se ajusta a la temperatura de la habitación garantizando una mayor eficiencia energética y cuenta con sistema de evaporación automática del agua.



**Ilustración 10.** Aire acondicionado portátil marca Frikko.

## Programa PV System®

Este programa (ilustración 11) se encarga de la comunicación usuario-gabinete, nos permite controlar todas las funciones del gabinete, así como también elegir lo que se mostrara en el gabinete a su vez se encarga también de transmitir los datos de calibración a cada módulo de LED.



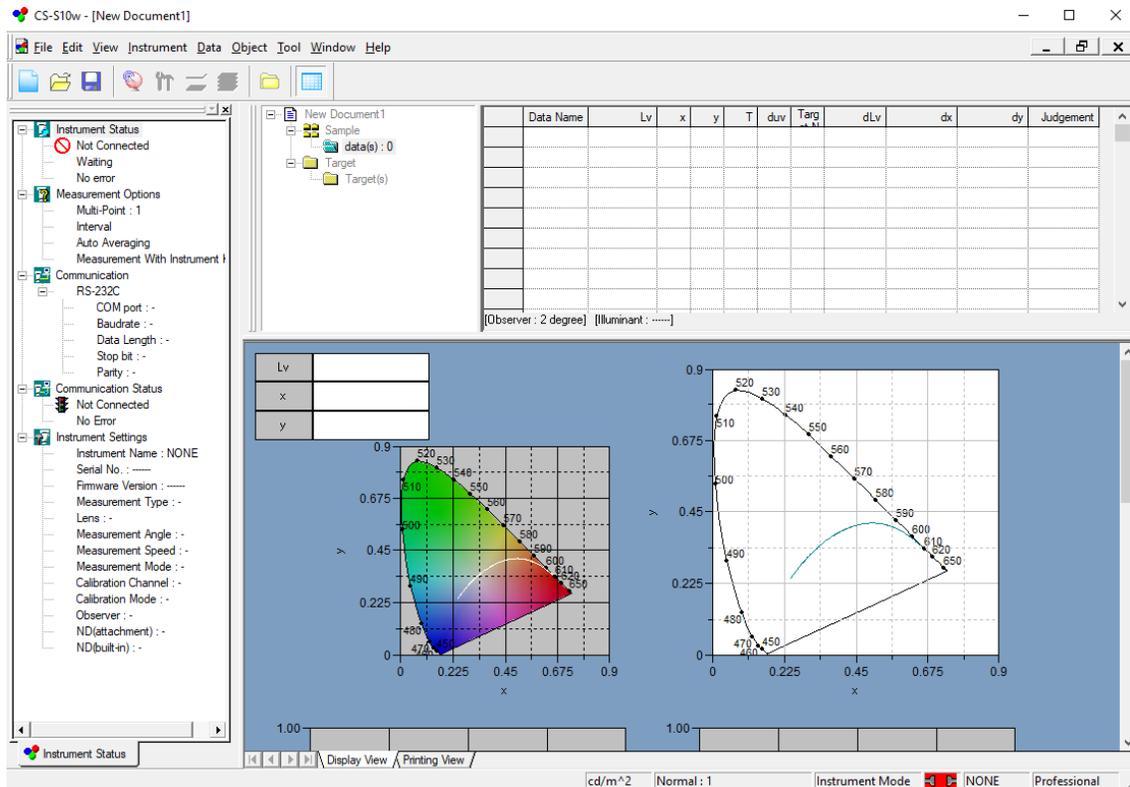
**Ilustración 11.** Interfaz del programa PVsystem

### Programa VisionCAL®

Es un programa utilizado para mejorar drásticamente la uniformidad de color y brillo en pantallas LED, el sistema está diseñado para ser lo suficientemente flexible como para satisfacer las necesidades de corrección del módulo led en un entorno de fábrica controlado y también para realizar correcciones en el campo de las grandes y espectaculares pantallas de video LED utilizadas en estadios, arenas, para publicidad exterior o para interiores grandes.

### Programa CS-S10w®

Este programa está diseñado para conectarse a CS-200 y CS-2000 o algún otro espectroradiómetro con el cual habilita las mediciones y el despliegue grafico de los datos, así como toma de decisiones en base a objetivos y tolerancias en una interfaz amigable con el usuario (Ilustración 12).



**Ilustración 12.** Interfaz del programa CS-S10w

### Computadora

Dada la gran capacidad de procesamiento que se necesita para utilizar el colorímetro y el espectro radiómetro, se compró una computadora con las siguientes características:

- Procesador: Intel Xeon E5
- Ram: 16GB
- Disco Duro: 1TB de disco duro y disco de estado sólido de 250GB
- Tarjeta de video: GeForce GTX 1650 DE 4GB.
- Sistema operativo: Windows 10 Pro
- Adicionales: Tarjeta con 2 puertos ethernet

### Computadora portátil

Equipo necesario para la comunicación entre el gabinete y

- Procesador: Intel Atom x5-Z8350
- Ram: 4 GB
- Disco Duro: 4 GB de ROM
- Tarjeta de video: GeForce GTX 1650 DE 4GB.
- Sistema operativo: Windows 10

### Interfaz Y8

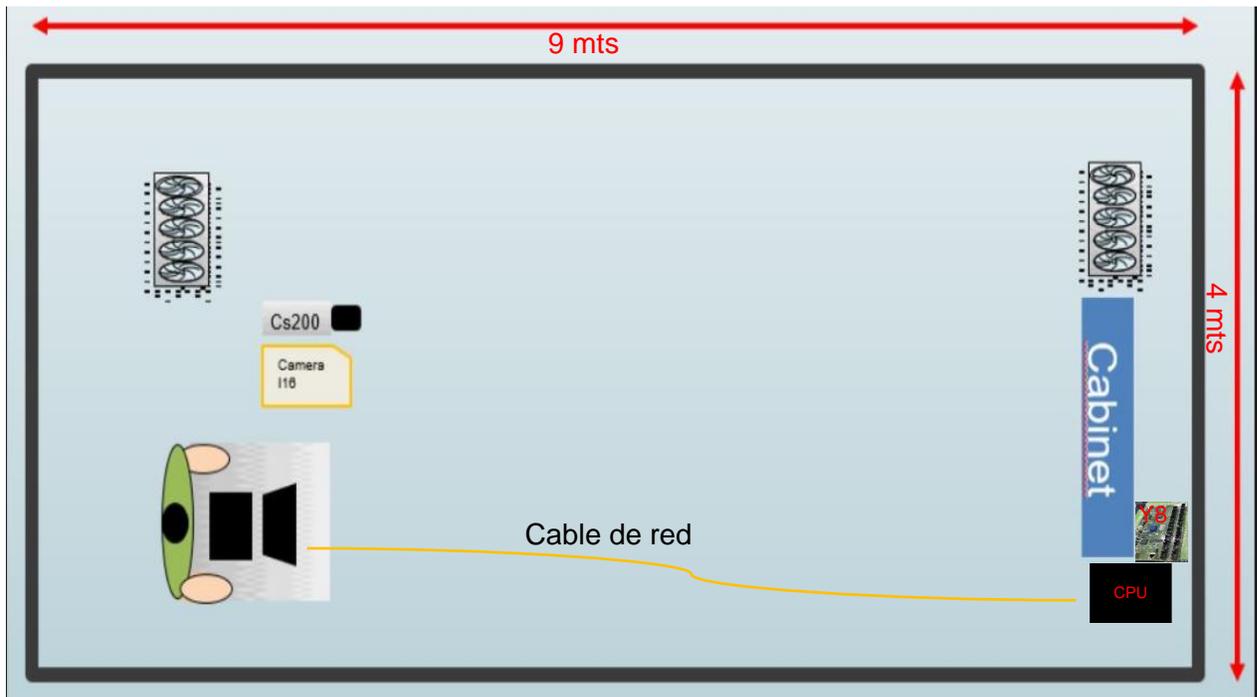
Placa creada por Prismview que se encarga de la comunicacion entre el gabinete y computadora.



**Ilustración 13.** Interfaz Y8

### 3.2 Metodología

Para las siguientes pruebas se colocó todo el equipo previamente mencionado en un cuarto oscuro elaborado de tubos de aluminio forrado con doble capa de coroplast color negro el cual contaba con 9 metros de largo y 4 metros de ancho, en el cuarto se colocaron 2 aires acondicionados portátiles Frikko en cada extremo del cuarto y las cámaras CS 200, I16 y CS2000 a una distancia del gabinete de 7.5 metros, atrás de estas cámaras se colocó un escritorio con la computadora en la cual se le instalo los programas VisionCAL 4.9.50, CS-S10w, esta computadora a su vez se conectó por medio de cable de red a la computadora portátil, a la cual se le instalo el programa PVsystem 19.10.24 y se conectó a la placa Y8 a través de un cable de HDMI [ilustración 14].



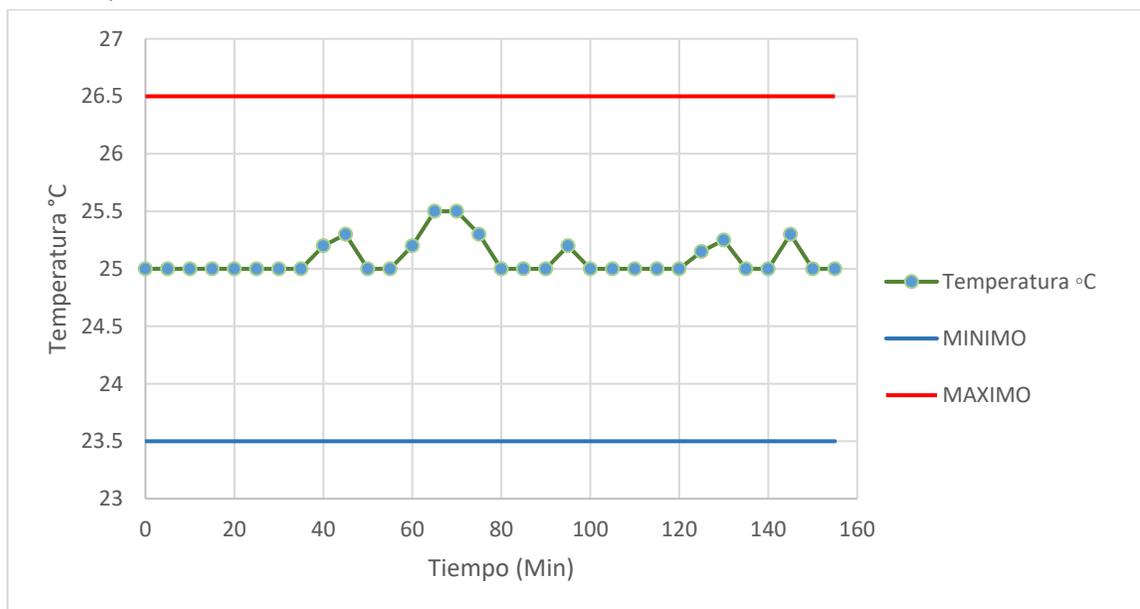
*Ilustración 14. Diseño del cuarto de calibración*

Posteriormente debido a que el proceso era nuevo, se recibió entrenamiento durante 2 semanas para el uso de programa CS-s10w y PVsystem por parte de personal estadounidense de la empresa Prismview ya que el software PVsystem fue creado por ellos y contaban también mucha experiencia en el uso del software CS-s10W ya que ellos son una empresa dedicada a producción de espectaculares.

Se recibió entrenamiento durante 1 mes para el uso del programa VisionCal por parte de personal de Samsung Korea (casa matriz) debido a que contaban con experiencia ya que este programa se utiliza en otros modelos que se introdujeron en otras subsidiarias.

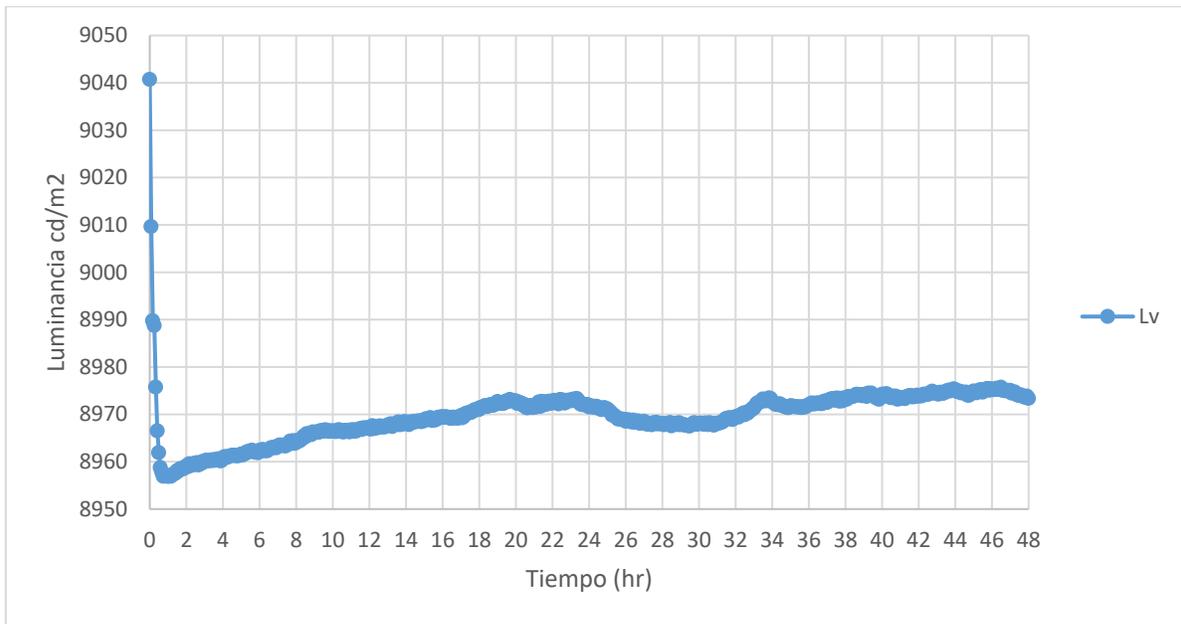
Con base al estudio realizado por el equipo del Dr. Lynn Davis y el departamento de energía de Estados Unidos (2017) donde se menciona que controlando variable de temperatura y humedad se puede predecir el comportamiento de la cromaticidad de los diodos LEDs, se realizó un estudio de temperatura y humedad en el área de calibración con un gabinete en el interior el cual tuvo procesos de encendidos y apagado en patrón blanco (dado que el color blanco hace uso de los tres colores verde, rojo y azul) con brillo al 25% (brillo al cual se calibra) durante un lapso de 4.5 horas a un brillo constante para ver las variaciones en la temperatura del cuarto de calibración provocadas por el gabinete.

El tipo de grafico esperado es una gráfica lineal con muy pocas variaciones (por el encendido del gabinete) [ilustración 15] la cual estará dentro de las especificaciones de casa matriz para la temperatura del cuarto  $25^{\circ}\text{C} \pm 1.5^{\circ}$ .



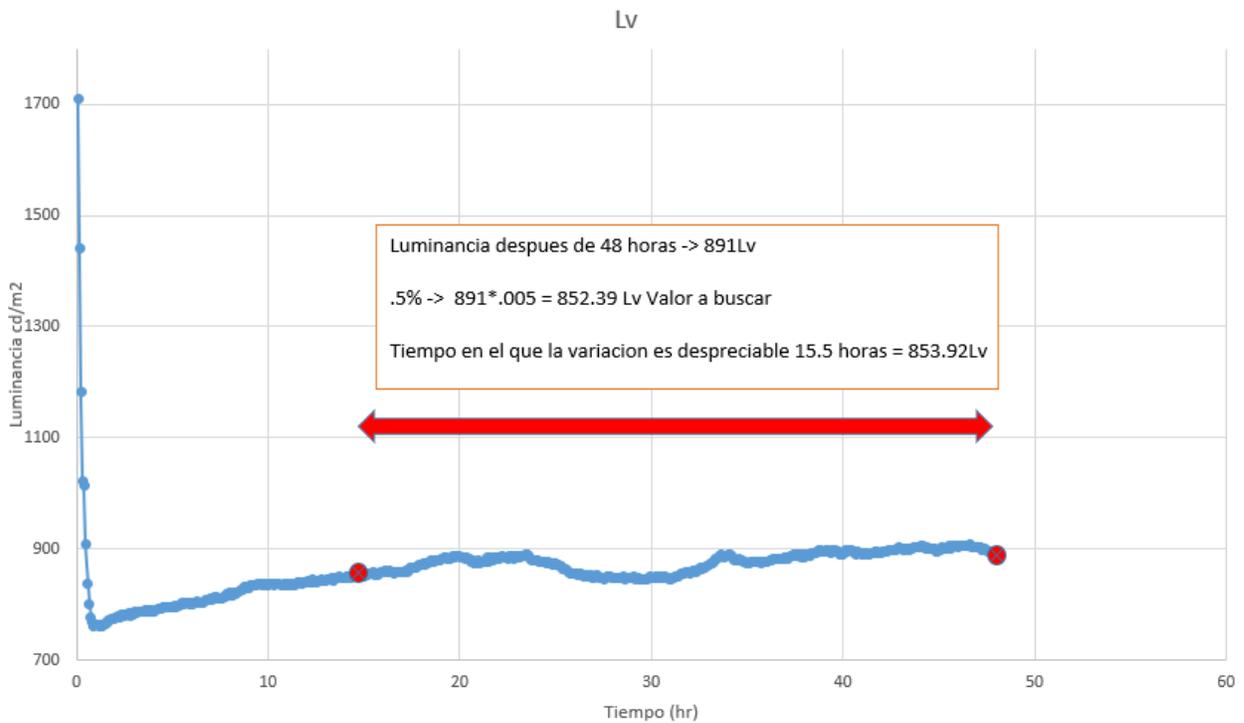
**Ilustración 15.** Grafica de la temperatura esperada

Posteriormente se realizó una serie de mediciones de cromaticidad y luminancia durante 48 horas en intervalos de 5 minutos entre cada medición con el espectroradiómetro CS200 y el programa CS-S10w, para 2 diferentes proveedores de LED, realizando mediciones a 20 muestras de cada vendor de LED para obtener una tendencia de las afectaciones en coordenada de color y luminancia por la de degradación del epoxico del LED. El tipo de grafico esperado para la luminancia es una gráfica exponencial negativa [ilustración 16].



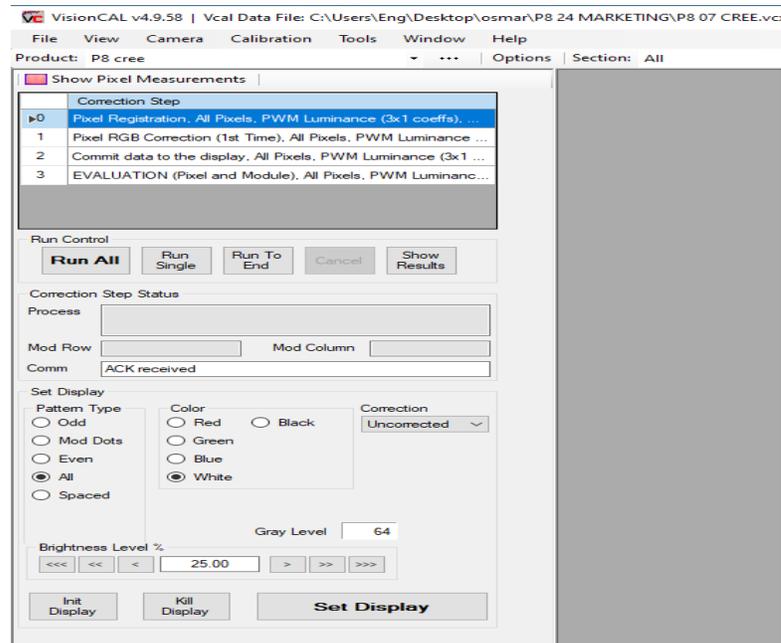
**Ilustración 16.** Grafica esperada de luminancia

Al tener la tendencia de degradación del LED, se podrá observar el comportamiento de la luminancia y cromaticidad conforme al tiempo, con el cual a través de un análisis visual se podrá determinar el punto exacto en el que la diferencia de luminosidad y la temperatura de color entre un punto determinado durante las mediciones y el valor final al termino de las 48 horas es menor al +/- .5% [ilustración 17], el cual está dentro de las variaciones aceptadas por el departamento de calidad que corresponde +/- 5%.



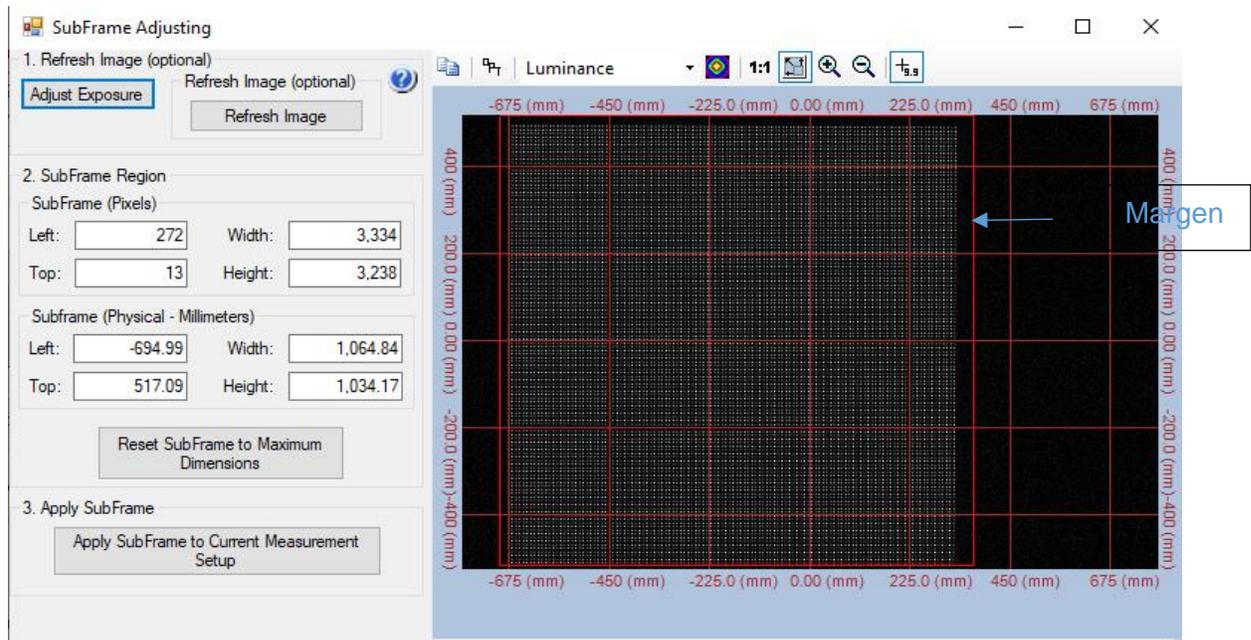
**Ilustración 17.** Luminancia vs Tiempo

Al conocer el tiempo exacto en el cual la cromaticidad del LED se estabilizo (variación menor a +/- .5%), se procederá con una recopilación de muestras a las cuales se les reducirá el tiempo de calentamiento con base al resultado obtenido por el análisis anterior. Posterior a esto se procedió a realizar la configuración del programa VisionCal [Ilustración 18] para poder calibrar.



**Ilustración 18.** Interfaz del programa VisionCal

Primero se configuro el programa VisionCAL en el cual a través de la función “SubFrame Adjusting” [Ilustración 19] se le indico a la cámara la posición del gabinete a través de un margen el cual era mayor al gabinete para asegurar el gabinete, aunque exista un desfase entre un gabinete y otro.



**Ilustración 19.** Función subframe en la cual se indica la posición del gabinete

Posteriormente debido a que el espectro radiómetro CS-200 está diseñado específicamente para medir la luminancia y cromaticidad con alta exactitud se usa este mismo y la función “Four color calibration” para calibrar la cámara Prometric I16 a través de reproducir los 4 colores (rojo, verde, azul y blanco) y medirlos con ambos equipos, los resultados luminancia y cromaticidad de cada color medido por el CS200 [ilustración 20] se introducen en el programa VisiónCAL [ilustración 21].

CS-S10w - [New Document2]

	Data Name	Lv	x	y	T	duv	Target No.	dLv	dx	dy	Judgem
1	Rojo	567.56	0.6923	0.3075	---	---	---	---	---	---	---
2	Verde	1064.71	0.1246	0.7030	---	---	---	---	---	---	---
3	Blue	137.56	0.1289	0.0663	---	---	---	---	---	---	---
4	White	1750.68	0.3201	0.3239	6128	-0.0031	---	---	---	---	---

Ilustración 20. mediciones en el programa Cs-s10w

Four Color Calibration

1. Enter Four Color Calibration Description  
P08 Test

2. ND Filters to Use During Calibration  
Clear  ND1  ND2

3. Adjust Exposure  
Adjust Exposure Refresh Image (optional)  
Refresh Photopic Refresh Color

4. Select Measurement Point  
X Loc. (mm): -403.066 Y Loc. (mm): -155.541  
Detector:  Circle  Rectangle  
Size (mm): 500.000  
Height (mm): 25.400  
Width (mm): 25.400

5. Choose Color Space  
 Cx, Cy (CIE 1931)  u', v' (CIE 1976)

Measure All Colors

6. Measure Color Points

	PrimaryColumn	Cx	Cy	Luminance (cd/m <sup>2</sup> )	Change Display	Measure from New	Measure Complete
▶	Primary 1 (Red)	0.6923	0.3075		Change Dis.	Meas New	Complete
	Primary 2 (Green)	0.1246	0.7030		Change Dis.	Meas New	Complete
	Primary 3 (Blue)	0.1289	0.0663		Change Dis.	Meas New	Complete
	Primary 4 (White)	0.3201	0.3239	1,750.6800	Change Dis.	Meas New	Complete

7. Create Color / Brightness Scaling Calibration  
Create Color Calibration

Se le indica al programa el mismo punto que la cámara Cs-200

Se mide la cromaticidad en cada color y se introducen las mediciones obtenidas por el Cs200.

Ilustración 21. Función Four color calibration

Una vez realizado lo anterior se procedió a establecer los parámetros del producto (Pitch, Dimensiones, cantidad de pixeles) ya que estos varían dependiendo del modelo [Ilustración 22].

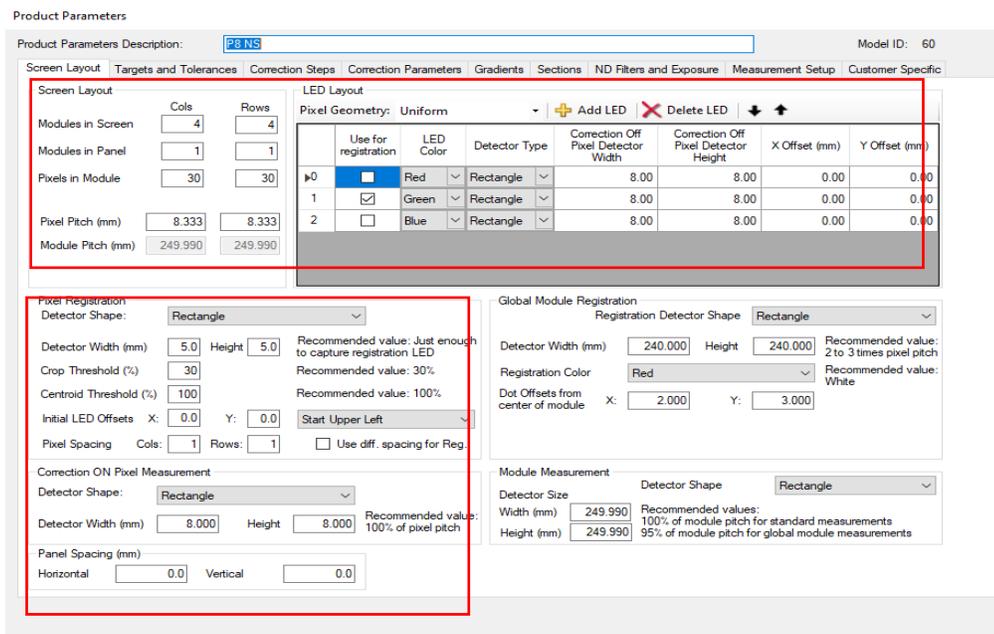


Ilustración 22. Configuración del modelo en el programa VisionCal

Se definieron los valores de luminancia y cromaticidad los cuales se desean obtener, así como los criterios de prueba (desviación estándar, diferencia de luminancia del valor deseado y niveles de uniformidad) [Ilustración 23].

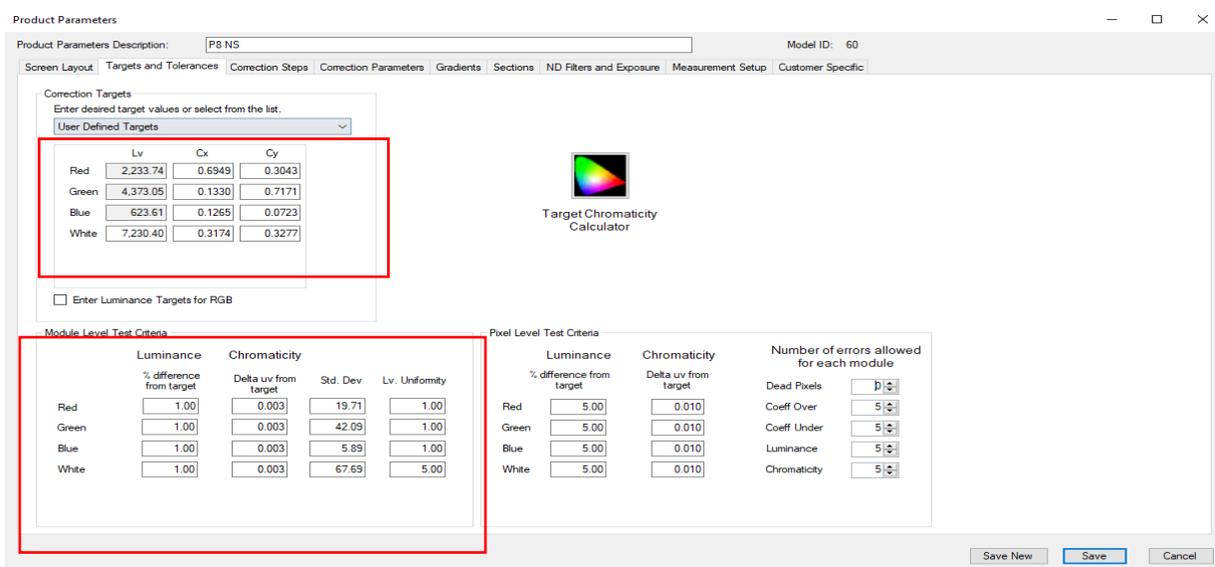
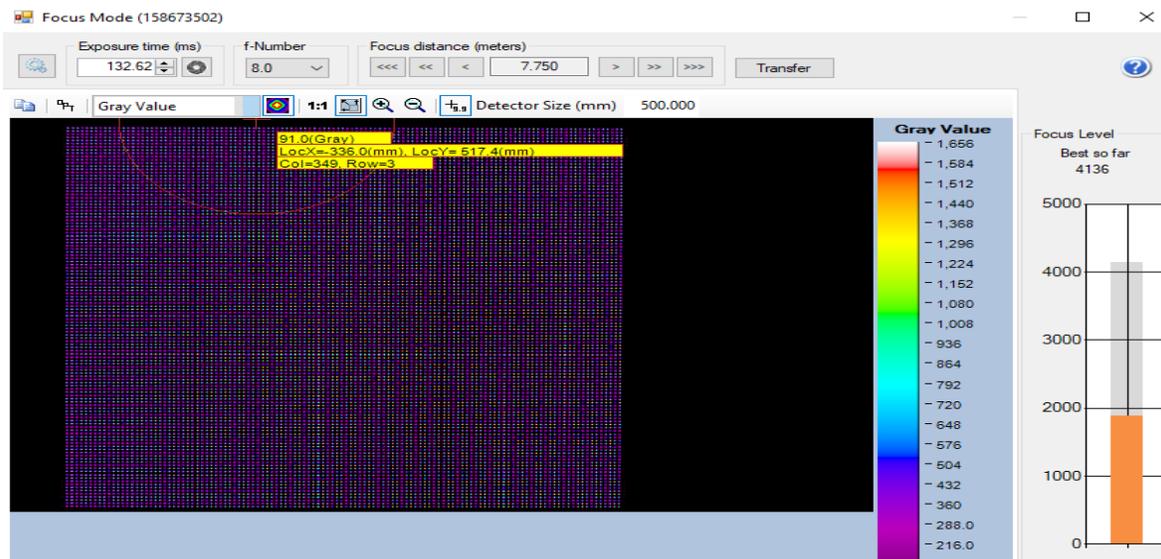


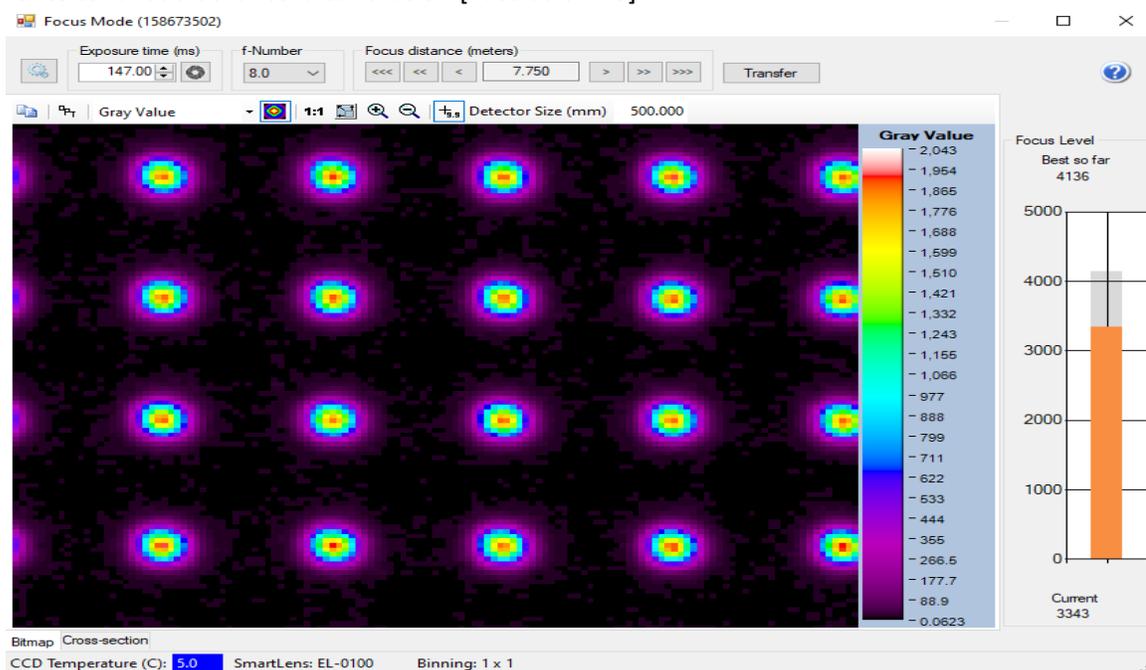
Ilustración 23. Parámetros de objetivos y tolerancias en el Programa VisionCal

Teniendo lo anterior realizado se procedió a ajustar el enfoque de la cámara Prometric I16 a través de la función “Focus” de visión cal, se fijó el enfoque en 7.75metros el cual es mayor a la distancia de la cámara al set para asegurar que se capture completamente el gabinete sin perder la calidad para detectar el LED [ilustración 24].



**Ilustración 24.** Vista del gabinete a través de la función “Focus”

Posteriormente dentro de la función “focus” se realizó un acercamiento para verificar que la cámara capta de forma correcta el LED [ilustración 25], ya que de no ser así genera problemas de distorsión o zonas con diferente tonalidad durante la calibración [ilustración 26].

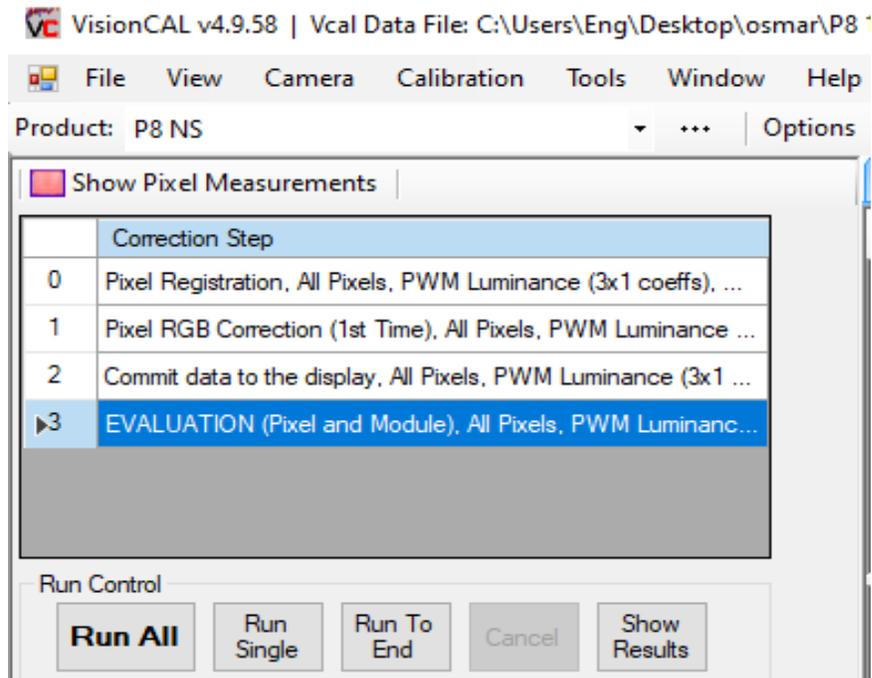


**Ilustración 25.** Vista del LED a través de la función “focus”



*Ilustración 26. Vista del LED mal enfocado y con desfase*

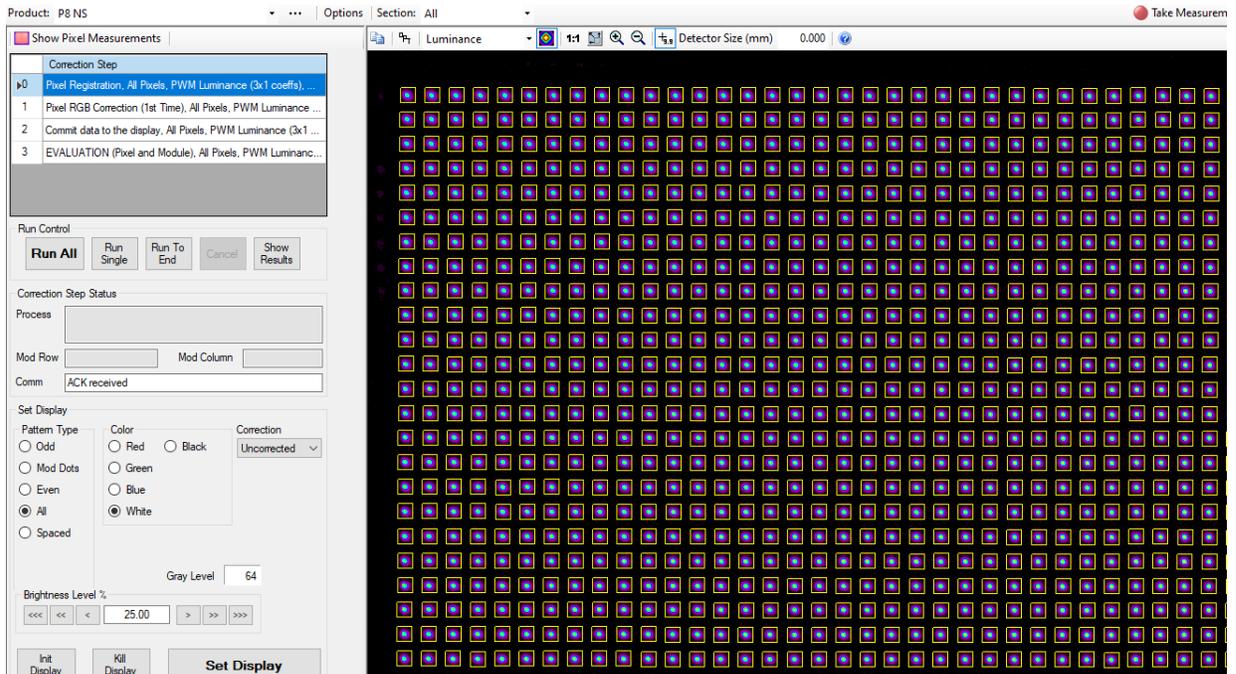
Con todo lo demás concluido se procedió con el proceso de calibración el cual se divide en 4 etapas “pixel registration”, “Pixel RGB Correction”, “Commit data to the display” y “Evaluation” por los cuales se logra la calibración [ilustración 27].



*Ilustración 27. Las 4 etapas de calibración*

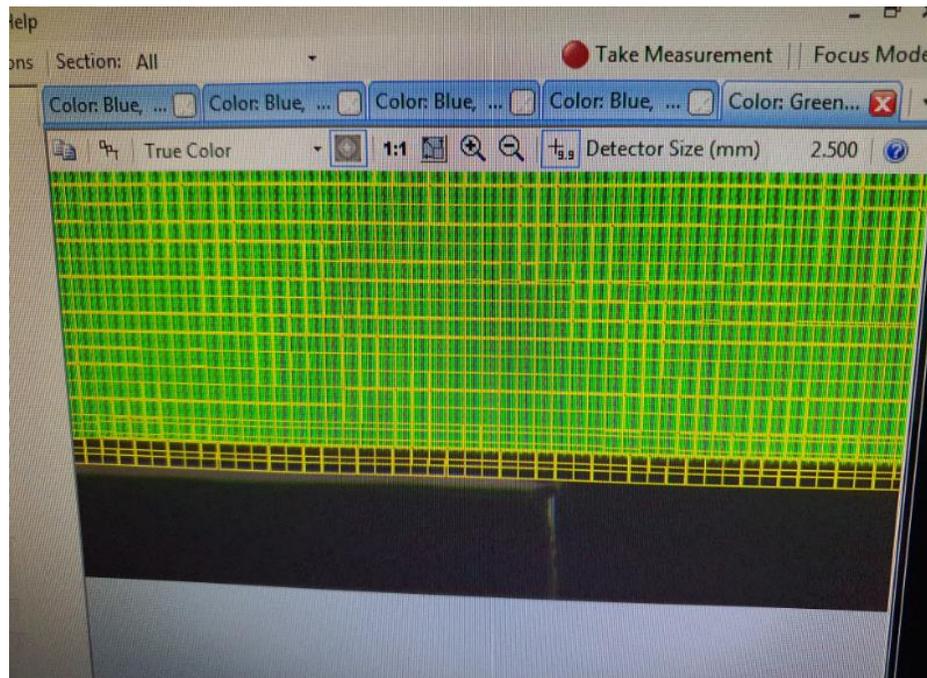
- Función “Pixel registration”

El programa detecta los pixeles del gabinete en base a la configuración del modelo introducido previamente [ilustración 28].



*Ilustración 28. Función detección de pixel*

Una mala configuración del modelo genera errores en la detección del LED como pueden ser errores de desplazamiento en la detección [ilustración 29] o detectar menor cantidad de LEDs.



*Ilustración 29. Error en la detecion de LEDS*

- Función "Pixel RGB Correction"

El programa mide los 4 colores (verde, rojo, azul y blanco), en base a las mediciones obtenidas realiza las correcciones para calibrar al objetivo [ilustración 30].

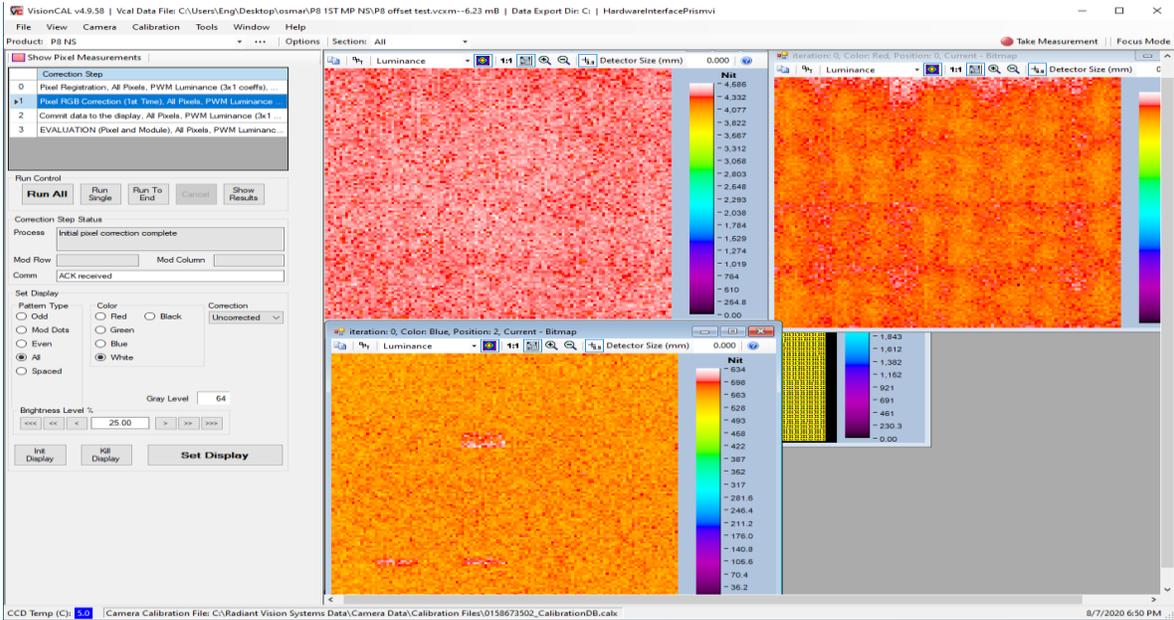


Ilustración 30. Función "Corrección de Pixel"

- Función "Commit data to the display"

El programa transfiere las correcciones necesarias al Gabinete y este las aplica [ilustración 31], el resultado se puede apreciar en el gabinete [ilustración 32].

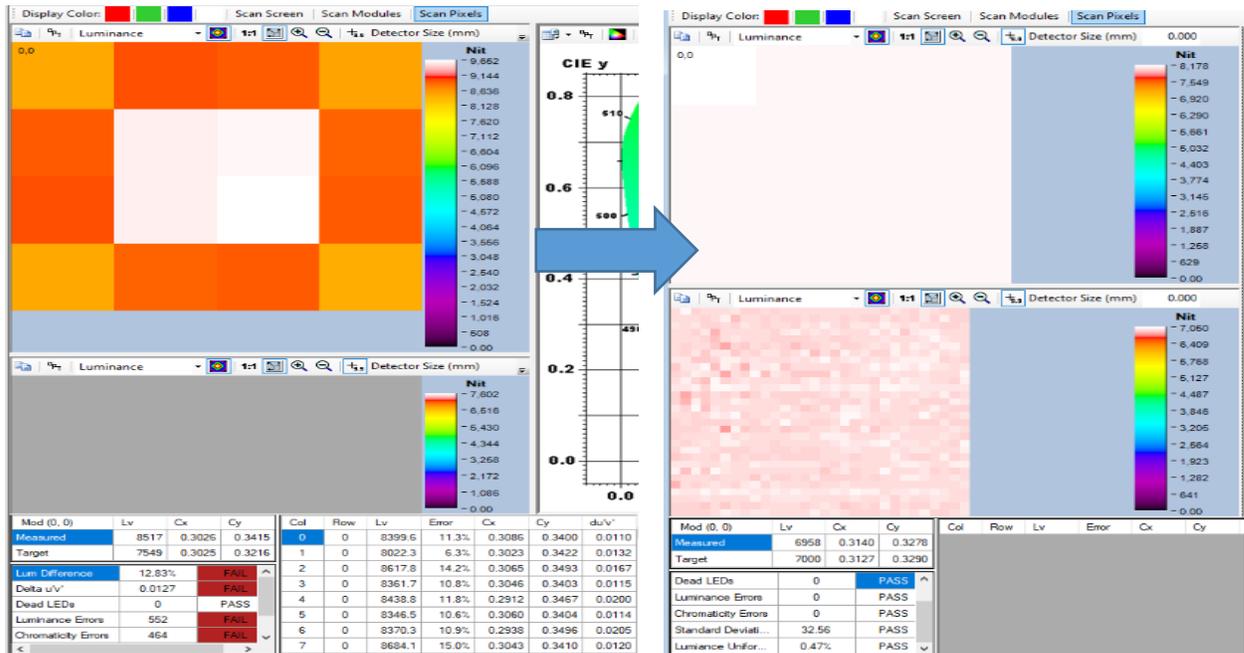
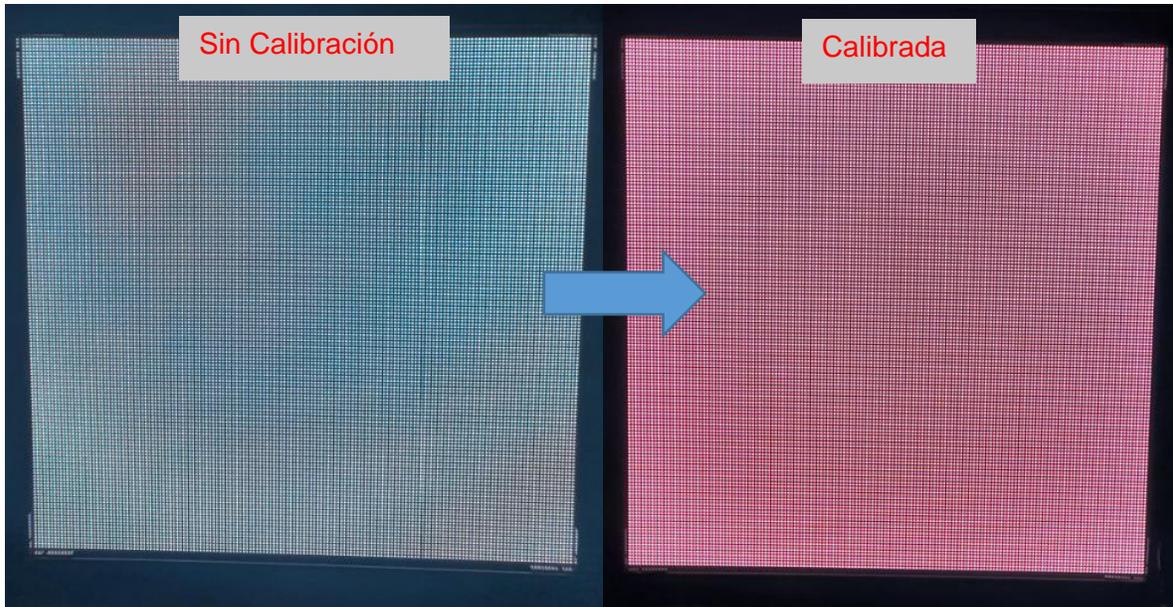


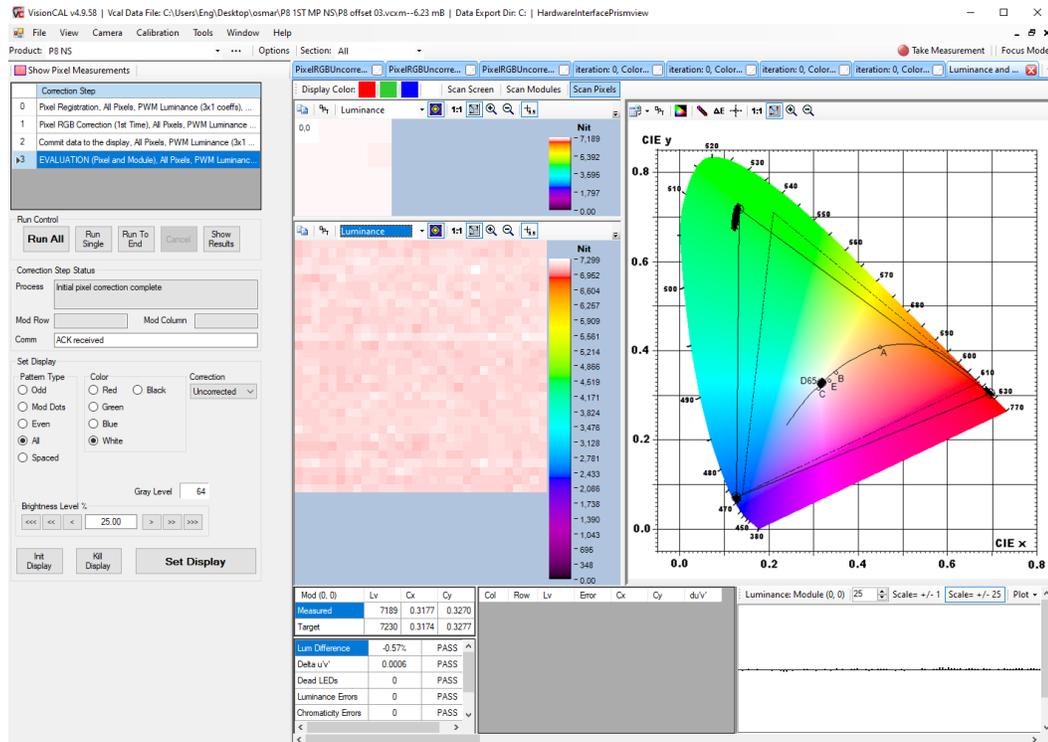
Ilustración 31. Función "envío de datos a pantalla"



**Ilustración 32.** Diferencia visual entre un gabinete sin calibrar y uno calibrado

- Función “Evaluation”

El programa vuelve a medir los 4 colores (verde, rojo, azul y blanco) y muestra el resultado de la calibración [ilustración 33].



**Ilustración 33.** Resultado de la calibración en VisionCal

Posteriormente al terminar la configuración del programa VisionCal, se procedió a desconectar el gabinete y se trasladó al cuarto de calibración por lo cual se vuelve a encender y se deja encendido durante 1 hora, durante este proceso se midió la variación de luminancia con el espectroradiómetro CS200 (Ilustración x), posteriormente se realiza el proceso de calibración a través de la cámara Prometric I16 y los programas VisionCAL (ilustración x) y PVsystem.

Al término de la calibración se procedió a realizar mediciones de referencia de luminancia y cromaticidad en patrón color blanco con el brillo al 100% a través del programa CS-S10W Y el espectroradiómetro CS200, posteriormente se dejó en calentamiento el tiempo restante de las 48 Horas y se volvió a medir al completar el ciclo de calentamiento, este proceso se realizó con diferentes gabinetes de los cuales se verificara la diferencia entre el valor a la reducción del tiempo y a las 48 horas sea menor al 5% para corroborar el resultado de la reducción de tiempo

Para realizar esta prueba se definió en el programa CS-S10W los mismos objetivos que en la calibración los cuales eran  $8000 \text{ cd/m}^2$ , de cromaticidad  $C_x .3127$  y  $C_y .3290$  [ilustración 34].

**Ilustración 34.** Objetivos de calibración para el programa Cs-s10w

En base a estos objetivos al realizar las mediciones con la cámara el programa automáticamente juzga si el resultado está entre las especificaciones y lo define como “Fail” en caso de no cumplir y “Pass” en caso de estar entre las especificaciones [ilustraciones 35].

CS-S10w - [results5.ces]

	Data Name	Lv	x	y	T	duv	Target No.	dLv	dx	dy	Judgement
Target	8000 Nit D65 @25%	2000.00	0.3127	0.3290	6514	0.0032	----	----	----	----	----
1	P8 02 CREE PRE	2557.11	0.2982	0.3066	7733	-0.0007	1	557.11	-0.0145	-0.0224	Fail
2	P8 02 CREE Post2	1994.62	0.3141	0.3288	6439	0.0024	1	-5.38	0.0014	-0.0002	Pass
3	P8 04 CREE PRE	2525.95	0.2966	0.3056	7879	-0.0003	1	525.95	-0.0161	-0.0234	Fail
4	P8 04 CREE Post2	1984.98	0.3138	0.3294	6452	0.0029	1	-15.02	0.0011	0.0004	Pass
5	P8 01 CREE Pre	2529.48	0.2982	0.3070	7723	-0.0005	1	529.48	-0.0145	-0.0220	Fail
6	P8 01 CREE Post2	1994.08	0.3138	0.3294	6448	0.0029	1	-5.92	0.0011	0.0004	Pass
7	P8 05 CREE Pre	2518.89	0.2975	0.3063	7793	-0.0005	1	518.89	-0.0152	-0.0227	Fail
8	P8 05 CREE Post	1987.16	0.3137	0.3297	6456	0.0031	1	-12.84	0.0010	0.0007	Pass
9	P8 08 CREE Pre	2536.62	0.2957	0.3072	7911	0.0010	1	536.62	-0.0170	-0.0218	Fail
10	P8 08 CREE Post2	2004.84	0.3128	0.3291	6508	0.0032	1	4.84	0.0001	0.0001	Pass
11	P8 09 CREE PRE	2518.02	0.2978	0.3052	7784	-0.0012	1	518.02	-0.0149	-0.0238	Fail
12	P8 09 CREE POST2	1995.81	0.3132	0.3287	6488	0.0028	1	-4.19	0.0005	-0.0003	Pass

**Ilustración 35.** Resultados de las mediciones con el espectro radiómetro CS-200

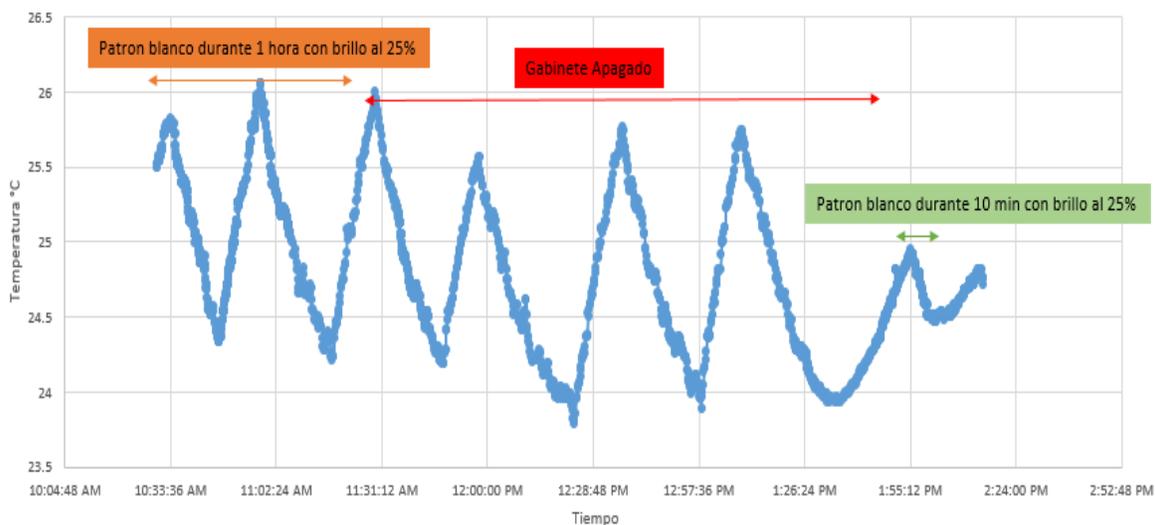
En base a los resultados obtenidos de caracterizar el comportamiento del LED se aplicó una mejora al proceso de calibración, en la cual se elimina la parte del proceso de calentamiento para la estabilización del LED antes de la calibración por medio de una compensación de la pérdida en el objetivo de calibración. Para el ajuste del objetivo se deja reposar el gabinete durante 1 hora apagado y posteriormente se calibra, al término de la calibración se dejó en calentamiento durante 1hr con el brillo al 25% y al término de esta hora se mide y la diferencia entre el valor deseado y el valor medido se le sumo al objetivo y se procedió a calibrar el segundo gabinete el cual siguiendo el mismo proceso se deja 1 hora de calentamiento después de la calibración y se mide con la cámara CS 200 con la cual se corrobora si la compensación es correcta.

Inicialmente debido a que el colorímetro realiza las correcciones de calibración midiendo el gabinete al 25% del brillo, se decidió usar el espectro radiómetro CS-2000 y las mediciones para corroborar el resultado de la calibración se realizaban con el 25% de brillo en el gabinete. Dado que el gabinete al 25% de brillo no se encuentra en las peores condiciones (alta temperatura y mayor consumo de corriente) se decidió modificar el brillo al momento de comprobación de resultado pasando de 25% de brillo al 100% de brillo, esto generó que se tuviera que cambiar el espectro radiómetro ya que para mediciones superiores a 5000cd/m<sup>2</sup> se necesita un filtro especial con costo de \$10,000 usd, por lo cual se decidió cambiar al espectro radiómetro CS-200 el cual cumple con la función sin necesidad de aditamentos.

## Capítulo 4. Resultados y Discusión

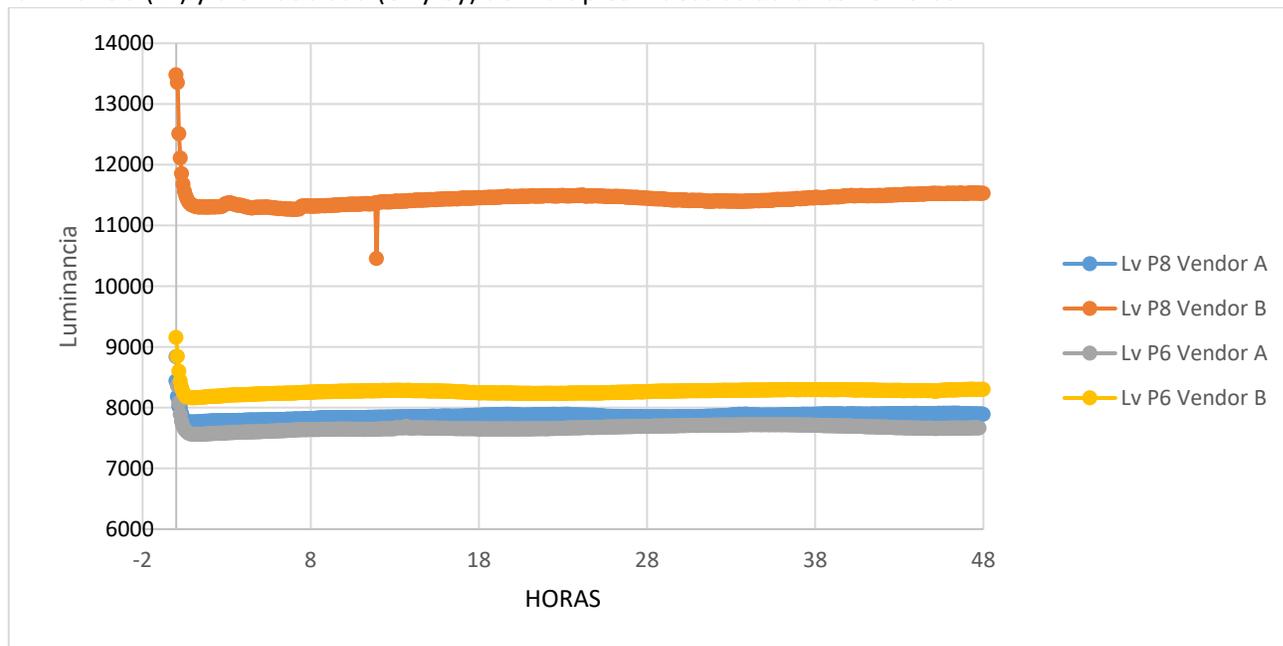
### 4.1 Resultados

En base a la medición de temperatura del cuarto de calibración, se obtuvo la tendencia de temperatura durante un periodo de 4 horas, dicha tendencia se ilustra en la [Ilustración 36].

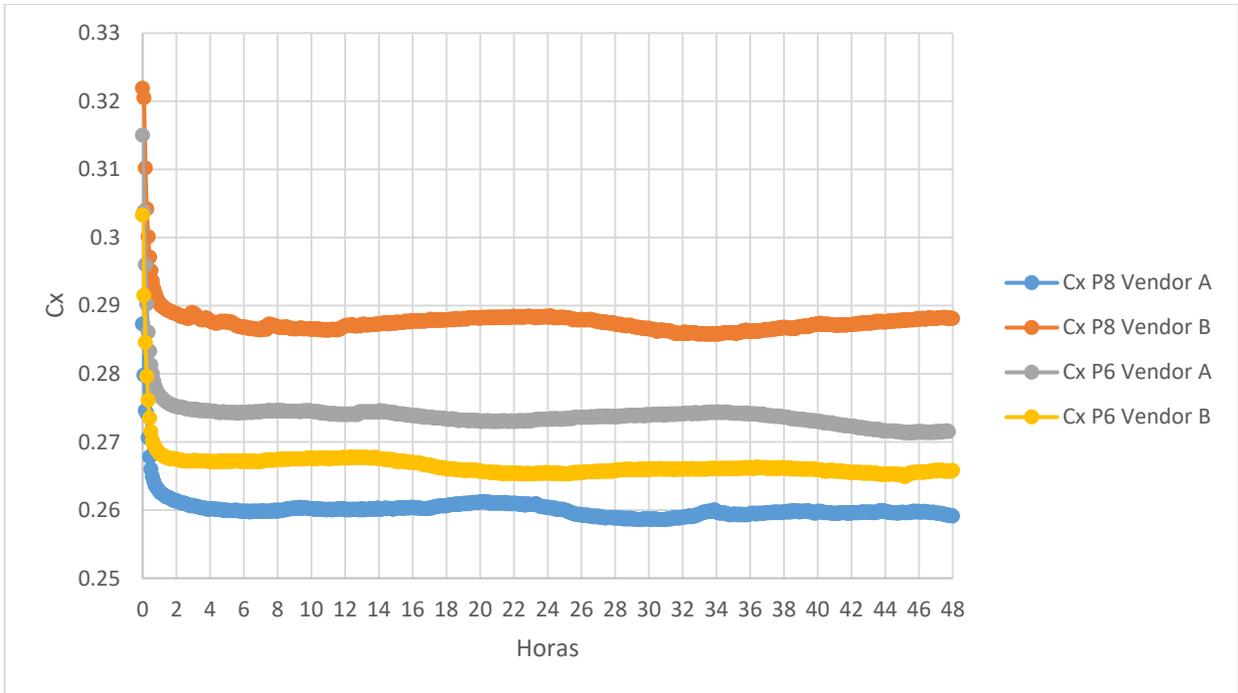


**Ilustración 36.** Temperatura del cuarto de calibración

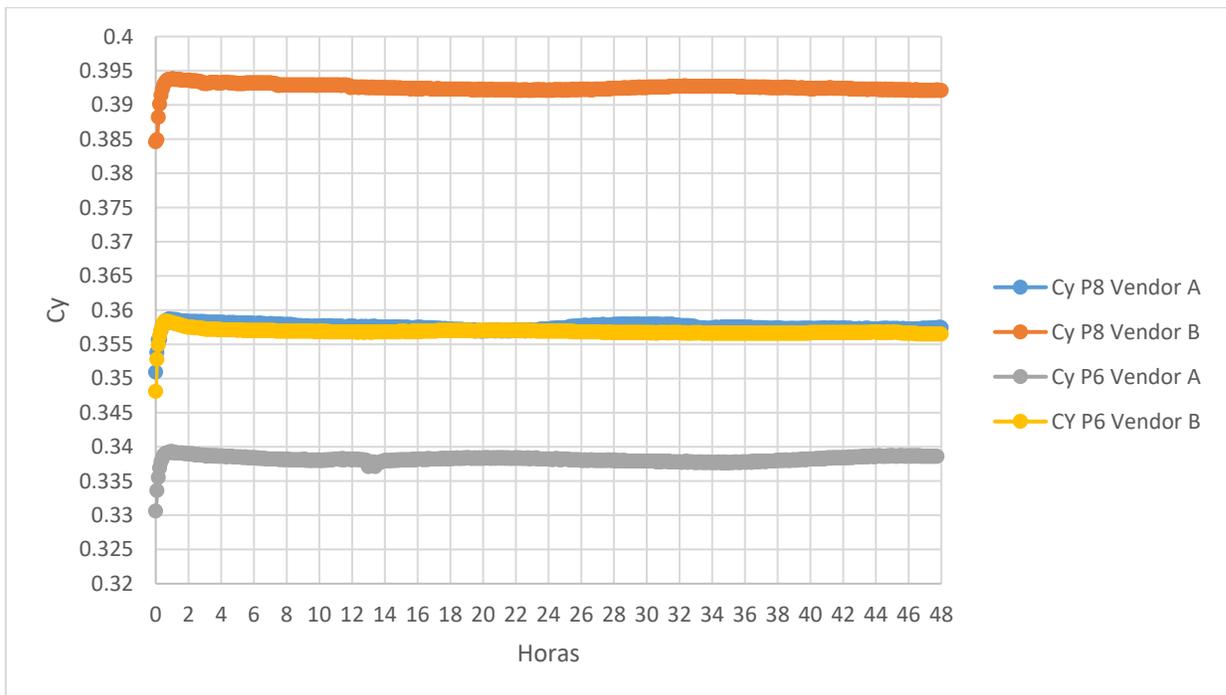
En la ilustración 37, 38 y 39 se puede observar el promedio de los resultados de las mediciones de luminancia (Lv) y cromaticidad (Cx y Cy) de múltiples muestras durante 48 horas.



**Ilustración 37.** Variación de LV en 48 horas



**Ilustración 38.** Variación de Cx en 48 horas



**Ilustración 39.** Variación de Cy en 48 horas

Teniendo los datos de cromaticidad (Cx y Cy) en distintos tiempos y Utilizando la aproximación de McCamy's se obtuvo la temperatura de color para determinados instantes de tiempo, esto se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3** Resultados de Lv, Cx, Cy y CT conforme al tiempo

		Tiempo (Hrs)					
Muestras		0	3	6	12	24	48
Lv	P8 vendor b	13480.98	11360.23	11282.05	11375.32	11492.03	11529
	P6 vendor b	9154.42	8199.16	8233.75	8275.78	8240.56	8300.44
	P8 vendor a	8439.79	7785.28	7804.11	7838.99	7875.88	7888.99
	P6 vendor a	8838.39	7582.77	7617.37	7647.11	7665.85	7665.56
Cx	P8 vendor b	0.3219	0.2889	0.2869	0.287	0.2883	0.2881
	P6 vendor b	0.3033	0.2672	0.2672	0.2677	0.2654	0.2657
	P8 vendor a	0.2873	0.2606	0.2598	0.26	0.2604	0.2592
	P6 vendor a	0.315	0.2747	0.2743	0.274	0.2733	0.2715
Cy	P8 vendor b	0.3846	0.3932	0.3932	0.3926	0.3921	0.3922
	P6 vendor b	0.3481	0.3572	0.357	0.3568	0.3569	0.3565
	P8 vendor a	0.3509	0.3583	0.358	0.3576	0.3572	0.3574
	P6 vendor a	0.3306	0.3388	0.3384	0.3381	0.3382	0.3386
CT	P8 vendor b	5874.92	7102.22	7183.72	7184.98	7136.08	7143.40
	P6 vendor b	6845.27	8649.20	8653.52	8629.29	8758.99	8750.65
	P8 vendor a	7647.22	9004.78	9058.93	9057.03	9043.33	9109.21
	P6 vendor a	6326.00	8614.53	8649.69	8676.24	8718.86	8825.22

Posteriormente se obtuvo la diferencia entre el valor estable de temperatura de color (48 Hrs) y el valor a diferentes instantes de tiempo, lo cual se observa en la tabla 4.

**Tabla 4.** Diferencia de CT (CT a 48Hrs-CT en función del tiempo)

		Diferencia de CT (48Hrs-CT en función del tiempo)			
Tiempo (Hrs)		3	6	12	24
P8 vendor b		210.68	175.54	148.98	106.37
P6 vendor b		41.18	-40.32	-41.57	7.32
P8 vendor a		101.45	97.13	121.36	-8.33
P6 vendor a		104.42	50.28	52.18	65.88

En base a los resultados en el cual la diferencia de variación (<150), se le aplico la reducción del tiempo de calentamiento de 48 horas a 12 horas y se procedió con la calibración en la cual se obtuvieron resultados mostrados para los 2 fabricantes de LED en la tabla 5 y 6 a 25% de brillo, donde en el nombre se menciona la leyenda "Pre" para los resultados previos a la calibración, "post" para el resultado al término de la calibración.

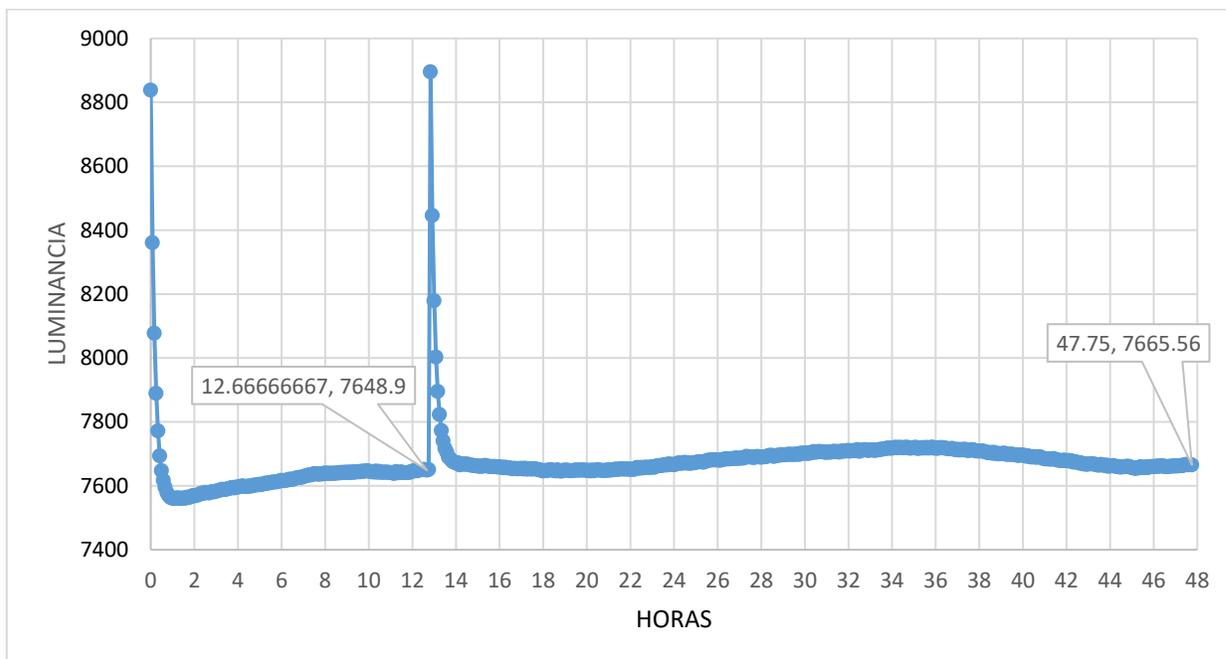
**Tabla 5. Resultados de calibración modelo P8 LED Vendor A**

	Data Name	Lv	x	y	T	duv	Target No.	dLv	dx	dy	Judgement
Target	7000 nits	1750.00	0.3127	0.3290	6514	0.0032	---	---	---	---	---
1	P8 #01 NS Post	1745.17	0.3122	0.3284	6547	0.0032	7	-4.83	-0.0005	-0.0006	Pass
2	P8 #01 NS Post2	1744.77	0.3120	0.3284	6558	0.0033	7	-5.23	-0.0007	-0.0006	Pass
3	P8 #01 NS PRE	2420.02	0.2857	0.3264	8234	0.0162	7	670.02	-0.0270	-0.0026	Fail
4	P8 #02 NS PRE	2389.27	0.2846	0.3285	8270	0.0179	7	639.27	-0.0281	-0.0005	Fail
5	P8 #02 NS POST1	1739.69	0.3120	0.3284	6555	0.0033	7	-10.31	-0.0007	-0.0006	Pass
6	P8 #03 NS PRE	2418.98	0.2838	0.3267	8362	0.0175	7	668.98	-0.0289	-0.0023	Fail
7	P8 #03 NS Post1	1749.48	0.3133	0.3281	6485	0.0024	7	-0.52	0.0006	-0.0009	Pass
8	P8 #05 NS Pre	2407.15	0.2848	0.3280	8268	0.0175	7	657.15	-0.0279	-0.0010	Fail
9	P8 #05 NS Post1	1734.64	0.3127	0.3286	6515	0.0030	7	-15.36	0.0000	-0.0004	Pass
10	P8 #04 NS Pre	2402.44	0.2842	0.3263	8348	0.0171	7	652.44	-0.0285	-0.0027	Fail
11	P8 #04 NS Post1	1745.47	0.3138	0.3278	6458	0.0020	7	-4.53	0.0011	-0.0012	Pass
12	P8 #06 NS Pre	2402.82	0.2836	0.3270	8370	0.0177	7	652.82	-0.0291	-0.0020	Fail
13	P8 #06 NS Post1	1750.57	0.3103	0.3288	6649	0.0043	7	0.57	-0.0024	-0.0002	Pass

Tabla 6. Resultados de calibración modelo P6 LED Vendor B

	Data Name	Lv	x	y	T	duv	Target No.	dLv	dx	dy	Judgement
Target	8000 Nit D65 @25%	2000.00	0.3127	0.3290	6514	0.0032	----	----	----	----	----
30	#16 P6 Pre Cal 25%	2312.85	0.3042	0.3217	7084	0.0039	1	312.85	-0.0085	-0.0073	Fail
31	#16 P6 Post Cal 25%	1990.50	0.3135	0.3288	6469	0.0027	1	-9.50	0.0008	-0.0002	Pass
32	#17 P6 Pre Cal 25%	2291.91	0.3035	0.3229	7111	0.0049	1	291.91	-0.0092	-0.0061	Fail
33	#17 P6 Pro Cal 25%	1989.04	0.3138	0.3294	6450	0.0029	1	-10.96	0.0011	0.0004	Pass
34	#18 Pre Cal 25%	2308.43	0.3036	0.3223	7111	0.0045	1	308.43	-0.0091	-0.0067	Fail
35	#18 P6 Post Cal 25%	1982.15	0.3130	0.3294	6497	0.0033	1	-17.85	0.0003	0.0004	Pass
36	#20 P6 Pre Cal 25%	2287.32	0.3057	0.3219	6985	0.0032	1	287.32	-0.0070	-0.0071	Fail
37	#P20 P6 Post Cal 25%	2000.64	0.3130	0.3292	6497	0.0032	1	0.64	0.0003	0.0002	Pass
38	#19 P6 Pre Cal 25%	2283.52	0.3084	0.3207	6830	0.0011	1	283.52	-0.0043	-0.0083	Fail
39	#19 P6 Post Cal 25%	2004.70	0.3133	0.3291	6480	0.0030	1	4.70	0.0006	0.0001	Pass
40	#21 P6 Pre Cal 25%	2297.83	0.3036	0.3223	7116	0.0045	1	297.83	-0.0091	-0.0067	Fail
41	#21 P6 Post cal 25%	2004.74	0.3132	0.3291	6485	0.0030	1	4.74	0.0005	0.0001	Pass
42	#24 P6 Pre Cal 25%	2286.23	0.3093	0.3220	6766	0.0014	1	286.23	-0.0034	-0.0070	Fail
43	#24 P6 Post Cal 25%	2002.61	0.3139	0.3289	6450	0.0026	1	2.61	0.0012	-0.0001	Pass
44	#22 P6 Pre Cal 25%	2285.41	0.3041	0.3227	7075	0.0044	1	285.41	-0.0086	-0.0063	Fail
45	#22 P6 Post Cal 25%	2005.79	0.3138	0.3291	6454	0.0027	1	5.79	0.0011	0.0001	Pass
46	#23 P6 Pre Cal 25%	2296.89	0.3041	0.3231	7073	0.0047	1	296.89	-0.0086	-0.0059	Fail
47	#23 P6 Post Cal 25%	2011.86	0.3142	0.3291	6428	0.0025	1	11.86	0.0015	0.0001	Pass
48	#25 P6 Pre Cal 25%	2288.40	0.3038	0.3227	7097	0.0046	1	288.40	-0.0089	-0.0063	Fail
49	#25 P6 Post Cal 25%	1993.68	0.3134	0.3288	6474	0.0027	1	-6.32	0.0007	-0.0002	Pass
50	#26 P6 Pre Cal 25%	2280.03	0.3099	0.3222	6725	0.0011	1	280.03	-0.0028	-0.0068	Fail
51	#26 P6 Post Cal 25%	1999.95	0.3135	0.3290	6470	0.0028	1	-0.05	0.0008	0.0000	Pass
52	#30 P6 Pre Cal 25%	2296.91	0.3066	0.3220	6932	0.0028	1	296.91	-0.0061	-0.0070	Fail
53	#30 P6 Post Cal 25%	1986.16	0.3141	0.3288	6435	0.0024	1	-13.84	0.0014	-0.0002	Pass
54	#29 P6 Pre Cal 25%	2295.00	0.3052	0.3229	7006	0.0040	1	295.00	-0.0075	-0.0061	Fail
55	#29 P6 Post Cal 25%	2002.89	0.3142	0.3292	6431	0.0026	1	2.89	0.0015	0.0002	Pass
56	#28 P6 Post Cal 25%	1990.89	0.3136	0.3291	6465	0.0028	1	-9.11	0.0009	0.0001	Pass
57	#27 P6 Post Cal 25%	1992.36	0.3124	0.3297	6524	0.0037	1	-7.64	-0.0003	0.0007	Pass
58	#31 P6 Pre Cal 25%	2305.03	0.3061	0.3221	6957	0.0031	1	305.03	-0.0066	-0.0069	Fail
59	#31 P6 Post Cal 25%	1985.82	0.3148	0.3296	6392	0.0025	1	-14.18	0.0021	0.0006	Pass
60	#27-1 P6 Pre Cal 25%	2342.41	0.3087	0.3216	6804	0.0015	1	342.41	-0.0040	-0.0074	Fail
61	#27-1 P6 Post Cal 25%	2012.42	0.3138	0.3289	6451	0.0026	1	12.42	0.0011	-0.0001	Pass
62	#1 P6 Pre Cal 25%	2325.26	0.3068	0.3224	6912	0.0028	1	325.26	-0.0059	-0.0066	Fail
63	#1 P6 Post Cal 25%	2001.82	0.3136	0.3296	6459	0.0031	1	1.82	0.0009	0.0006	Pass
64	#5-1 P6 Pre Cal 25%	2324.27	0.3069	0.3220	6913	0.0026	1	324.27	-0.0058	-0.0070	Fail
65	#5-1 P6 Post Cal 25%	2002.36	0.3136	0.3296	6461	0.0031	1	2.36	0.0009	0.0006	Pass
66	#5-2 P6 Pre Cal 25%	2351.71	0.3120	0.3194	6620	-0.001	1	351.71	-0.0007	-0.0096	Fail
67	#5-2 P6 Post Cal 25%	1994.54	0.3141	0.3295	6433	0.0027	1	-5.46	0.0014	0.0005	Pass
68	#1-1 P6 Pre Cal 25%	2364.24	0.3125	0.3203	6584	-0.001	1	364.24	-0.0002	-0.0087	Fail
69	#1-1 P6 Post Cal 25%	2004.43	0.3140	0.3294	6440	0.0028	1	4.43	0.0013	0.0004	Pass
70	#3 Led off P6 Pre Cal 25%	2353.62	0.3107	0.3209	6687	0.0000	1	353.62	-0.0020	-0.0081	Fail
71	#3 Led off P6 Post Cal 25%	1991.80	0.3138	0.3288	6452	0.0026	1	-8.20	0.0011	-0.0002	Pass

Posteriormente se obtuvieron los resultados de las mediciones de luminancia de la prueba durante todo el proceso desde el calentamiento de 12 horas hasta finalizar el ciclo de 48 horas para corroborar los resultados [ilustración 40].



**Ilustración 40.** Variación de Luminancia durante todo el proceso

En base a el análisis de este resultado se generó una tabla [Tabla 7] la cual nos genera la compensación que se le tiene que agregar al objetivo de calibración para eliminar el proceso de calentamiento de 1 hora previo a la calibración.

**Tabla 7.** Calculadora de compensación de objetivo

Objetivo Calibracion en frio					
VisionCal Calculador de objetivo Lv		VisionCal Calculador de objetivo Cx		VisionCal Calculador de objetivo Cy	
Objetico Actual	7000	Objetico Actual	0.3127	Objetico Actual	0.329
Valor Medido (100%)	6769.604	Valor Medido (100%)	0.308	Valor Medido (100%)	0.3303
Objetivo Deseado	7000	Objetivo Deseado	0.3127	Objetivo Deseado	0.329
Nuevo Objetivo	7230.40	Nuevo Objetivo	0.3174	Nuevo Objetivo	0.3277

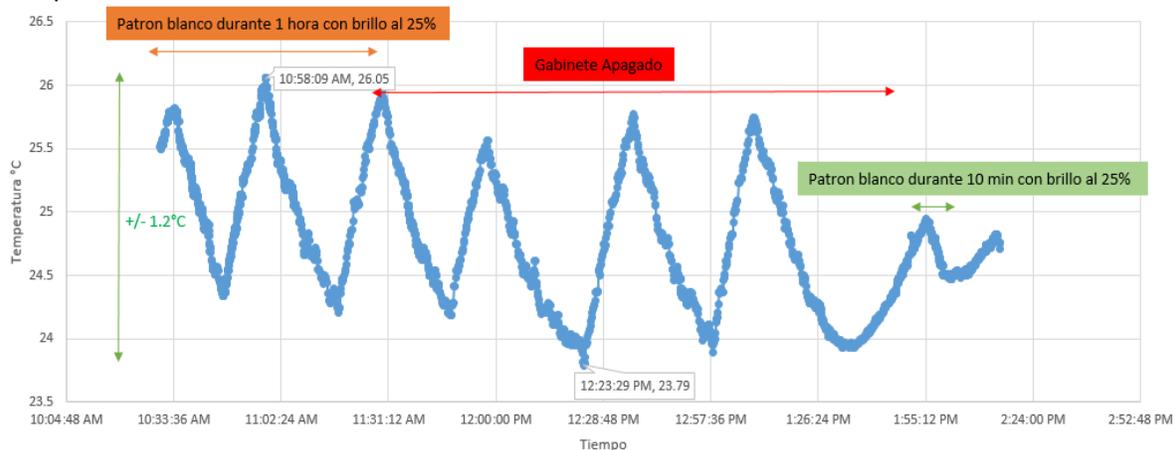
Utilizando esta compensación se calibraron diferentes muestras usando este procedimiento y se midieron 1 hora después para corroborar el resultado, apareciendo como “PASS” cuando el resultado se encuentra dentro de especificación y “Fail” cuando no, esto se muestra en la siguiente tabla [Tabla 8].

**Tabla 8.** Resultado de la calibración con compensación

Número de serie	LV	Cx	Cy	CT	Hora	Juicio
09Z4HCLN800001X	7286.161	0.3185	0.3248	6210	16:11:11	Fail
09Z4HCLN800001X	7096.643	0.3127	0.3273	6527	17:11:23	Pass
09Z4HCLN800002F	7300.153	0.3185	0.325	6211	17:28:46	Fail
09Z4HCLN800002F	7151.996	0.3142	0.3268	6443	18:28:24	Pass
09Z4HCLN800003J	7282.289	0.3188	0.3257	6192	17:19:54	Fail
09Z4HCLN800003J	7119.478	0.314	0.3277	6449	18:20:21	Pass
09Z4HCLN800004V	7237.823	0.3188	0.3251	6196	17:38:42	Fail
09Z4HCLN800004V	7053.171	0.3133	0.3272	6490	18:38:35	Pass
09Z4HCLN800005B	7247.492	0.3185	0.3251	6213	17:51:45	Fail
09Z4HCLN800005B	7069.023	0.313	0.3272	6507	18:51:18	Pass
09Z4HCLN800006Y	7235.086	0.3185	0.3257	6211	8:22:42	Fail
09Z4HCLN800006Y	7041.732	0.313	0.3279	6507	9:22:21	Pass
09Z4HCLN800007D	7224.926	0.3184	0.3249	6220	18:01:42	Fail
09Z4HCLN800007D	7033.281	0.3122	0.3273	6551	19:01:15	Pass
09Z4HCLN800008E	7253.791	0.3189	0.3245	6190	8:05:41	Fail
09Z4HCLN800008E	6996.511	0.3106	0.328	6640	9:05:13	Pass
09Z4HCLN800009H	7255.145	0.3185	0.3252	6213	8:15:36	Fail
09Z4HCLN800009H	7066.952	0.3126	0.3276	6527	9:15:12	Pass
09Z4HCLN800010M	7239.303	0.3186	0.3247	6205	8:28:23	Fail
09Z4HCLN800010M	7076.52	0.313	0.3272	6509	9:28:26	Pass
09Z4HCLN800011L	7270.325	0.3182	0.3245	6229	10:39:25	Fail
09Z4HCLN800011L	7099.823	0.3127	0.3271	6527	11:39:42	Pass
09Z4HCLN800012K	7267.659	0.318	0.3253	6238	16:12:35	Fail
09Z4HCLN800012K	7105.159	0.3129	0.3272	6511	17:08:56	Pass
09Z4HCLN800013A	7242.114	0.3189	0.3247	6188	10:21:25	Fail
09Z4HCLN800013A	7011.661	0.3117	0.3281	6576	11:23:18	Pass

## 4.2 Discusiones

En la siguiente ilustración [ilustración 41] se puede observar la tendencia de la temperatura en el cuarto de calibración en la cual se observa que a pesar de diferentes pruebas de encendido y apagado hay una variación de  $\pm 1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  la cual se encuentra dentro de la especificación que es de  $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  de la temperatura deseada.



**Ilustración 41.** Variación de temperatura en cuarto de calibración.

En la siguiente tabla [Tabla 9] se puede observar el comportamiento de la luminancia, cromaticidad y color de temperatura en distintos instantes de tiempo, en donde se aprecia que la luminancia tiende a bajar en el primer lapso de 3 horas y posterior a este a partir de las 12 horas las variaciones de luminancia se vuelven insignificantes ( $\pm 150$  lúmenes del valor a 48 Horas).

**Tabla 9.** Diferencia de CT (48Hrs-CT en función del tiempo)

Muestras		Tiempo (Hrs)					
		0	3	6	12	24	48
Lv	P8 vendor b	13480.98	11360.23	11282.05	11375.32	11492.03	11529
	P6 vendor b	9154.42	8199.16	8233.75	8275.78	8240.56	8300.44
	P8 vendor a	8439.79	7785.28	7804.11	7838.99	7875.88	7888.99
	P6 vendor a	8838.39	7582.77	7617.37	7647.11	7665.85	7665.56
Cx	P8 vendor b	0.3219	0.2889	0.2869	0.287	0.2883	0.2881
	P6 vendor b	0.3033	0.2672	0.2672	0.2677	0.2654	0.2657
	P8 vendor a	0.2873	0.2606	0.2598	0.26	0.2604	0.2592
	P6 vendor a	0.315	0.2747	0.2743	0.274	0.2733	0.2715
Cy	P8 vendor b	0.3846	0.3932	0.3932	0.3926	0.3921	0.3922
	P6 vendor b	0.3481	0.3572	0.357	0.3568	0.3569	0.3565
	P8 vendor a	0.3509	0.3583	0.358	0.3576	0.3572	0.3574
	P6 vendor a	0.3306	0.3388	0.3384	0.3381	0.3382	0.3386
CT	P8 vendor b	5874.92	7102.22	7183.72	7184.98	7136.08	7143.40
	P6 vendor b	6845.27	8649.20	8653.52	8629.29	8758.99	8750.65
	P8 vendor a	7647.22	9004.78	9058.93	9057.03	9043.33	9109.21
	P6 vendor a	6326.00	8614.53	8649.69	8676.24	8718.86	8825.22

En la siguiente tabla [Tabla 10] se observa que la diferencia de color de Temperatura entre el valor a 48 horas y 12 horas cumple la especificación de tolerancia por parte del departamento de calidad el cual es el promedio de las muestras +/-150, al tener resultados muy cerca del límite existe la posibilidad de que ciertos gabinetes se salgan de especificación por lo cual se tendrían que re-calibrar bajo diferentes parámetros, esta re calibración es aceptable debido a la reducción del tiempo del proceso.

**Tabla 10.** Diferencia de CT (48Hrs-CT en determinado tiempo)

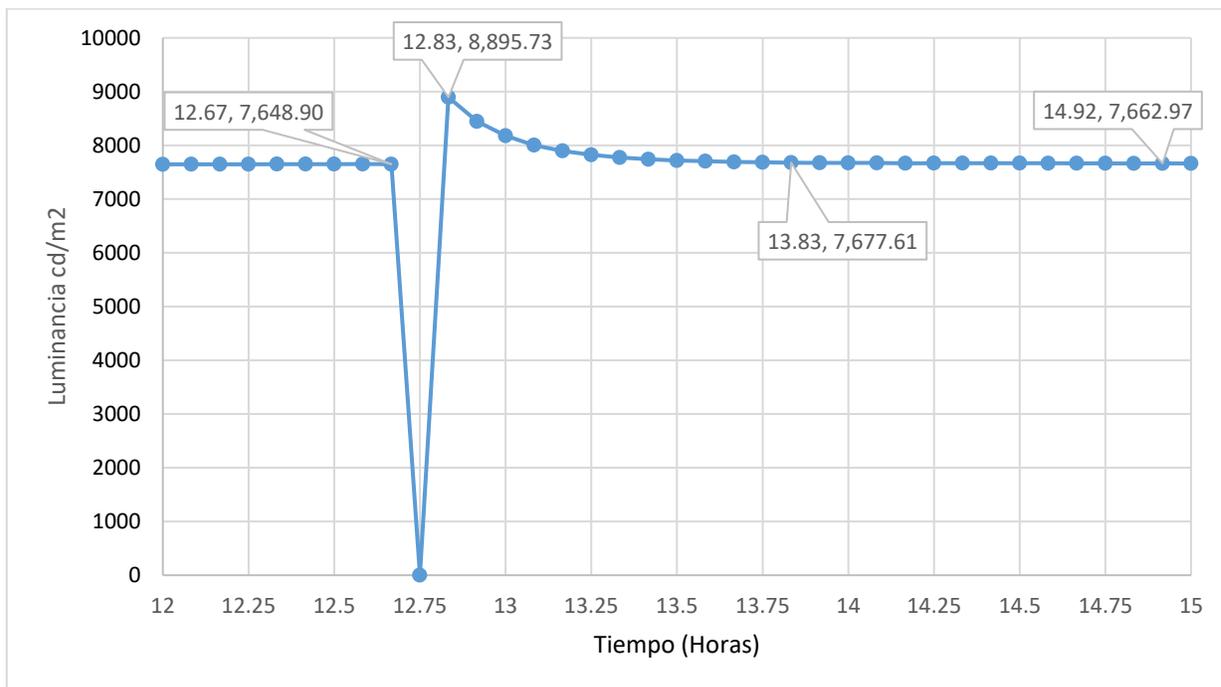
Tiempo (Hrs)	3	6	12	24
P8 vendedor b	210.68	175.54	148.98	106.37
P6 vendedor b	41.18	-40.32	-41.57	7.32
P8 vendedor a	101.45	97.13	121.36	-8.33
P6 vendedor a	104.42	50.28	52.18	65.88

En la siguiente ilustración [Ilustración 42] se puede ver que el resultado de calibración al aplicar la reducción de tiempo de calentamiento de 48 horas a 12 horas, se encuentra dentro del objetivo y tolerancia establecidas. En el nombre se menciona la leyenda “Pre” para los resultados previos a la calibración, “post” para el resultado al término de la calibración.

	Data Name	Lv	x	y	T	duv	Target No.	dLv	dx	dy	Judgement
Target	7000 nits	1750.00	0.3127	0.3290	6514	0.0032	-----	-----	-----	-----	-----
1	P8 #01 NS Post	1745.17	0.3122	0.3284	6547	0.0032	7	-4.83	-0.0005	-0.0006	Pass
2	P8 #01 NS Post2	1744.77	0.3120	0.3284	6558	0.0033	7	-5.23	-0.0007	-0.0006	Pass
3	P8 #01 NS PRE	2420.02	0.2857	0.3264	8234	0.0162	7	670.02	-0.0270	-0.0026	Fail
4	P8 #02 NS PRE	2389.27	0.2846	0.3285	8270	0.0179	7	639.27	-0.0281	-0.0005	Fail
5	P8 #02 NS POST1	1739.69	0.3120	0.3284	6555	0.0033	7	-10.31	-0.0007	-0.0006	Pass
6	P8 #03 NS PRE	2418.98	0.2838	0.3267	8362	0.0175	7	668.98	-0.0289	-0.0023	Fail
7	P8 #03 NS Post1	1749.48	0.3133	0.3281	6485	0.0024	7	-0.52	0.0006	-0.0009	Pass
8	P8 #05 NS Pre	2407.15	0.2848	0.3280	8268	0.0175	7	657.15	-0.0279	-0.0010	Fail
9	P8 #05 NS Post1	1734.64	0.3127	0.3286	6515	0.0030	7	-15.36	0.0000	-0.0004	Pass
10	P8 #04 NS Pre	2402.44	0.2842	0.3263	8348	0.0171	7	652.44	-0.0285	-0.0027	Fail
11	P8 #04 NS Post1	1745.47	0.3138	0.3278	6458	0.0020	7	-4.53	0.0011	-0.0012	Pass
12	P8 #06 NS Pre	2402.82	0.2836	0.3270	8370	0.0177	7	652.82	-0.0291	-0.0020	Fail
13	P8 #06 NS Post1	1750.57	0.3103	0.3288	6649	0.0043	7	0.57	-0.0024	-0.0002	Pass

**Ilustración 42.** Resultados de calibración al termino de 12 horas de calentamiento.

En la ilustración [ilustración 43] se puede apreciar que al término de las 12 horas hubo un periodo de apagado de 5 min y al encender de nuevo el gabinete tarda un lapso de 1 hora en estabilizarse nuevamente.



**Ilustración 43.** Comportamiento de luminancia en prueba de encendido/apagado

En la siguiente tabla [Tabla 11] se puede apreciar que los resultados de la calibración con la compensación de objetivo no están dentro del objetivo de especificación, pero al término de 1 hora de calentamiento el resultado ya se encuentra dentro de especificación.

Tabla 11. Resultado de calibración sin calentamiento

Número de serie	LV	Cx	Cy	CT	Hora	Juicio	Medición
09Z4HCLN800001X	7286.161	0.3185	0.3248	6210	16:11:11	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800001X	7096.643	0.3127	0.3273	6527	17:11:23	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800002F	7300.153	0.3185	0.325	6211	17:28:46	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800002F	7151.996	0.3142	0.3268	6443	18:28:24	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800003J	7282.289	0.3188	0.3257	6192	17:19:54	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800003J	7119.478	0.314	0.3277	6449	18:20:21	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800004V	7237.823	0.3188	0.3251	6196	17:38:42	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800004V	7053.171	0.3133	0.3272	6490	18:38:35	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800005B	7247.492	0.3185	0.3251	6213	17:51:45	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800005B	7069.023	0.313	0.3272	6507	18:51:18	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800006Y	7235.086	0.3185	0.3257	6211	8:22:42	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800006Y	7041.732	0.313	0.3279	6507	9:22:21	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800007D	7224.926	0.3184	0.3249	6220	18:01:42	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800007D	7033.281	0.3122	0.3273	6551	19:01:15	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800008E	7253.791	0.3189	0.3245	6190	8:05:41	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800008E	6996.511	0.3106	0.328	6640	9:05:13	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800009H	7255.145	0.3185	0.3252	6213	8:15:36	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800009H	7066.952	0.3126	0.3276	6527	9:15:12	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800010M	7239.303	0.3186	0.3247	6205	8:28:23	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800010M	7076.52	0.313	0.3272	6509	9:28:26	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800011L	7270.325	0.3182	0.3245	6229	10:39:25	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800011L	7099.823	0.3127	0.3271	6527	11:39:42	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800012K	7267.659	0.318	0.3253	6238	16:12:35	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800012K	7105.159	0.3129	0.3272	6511	17:08:56	O	1 hora después de calentamiento
09Z4HCLN800013A	7242.114	0.3189	0.3247	6188	10:21:25	X	Termino de Calibración
09Z4HCLN800013A	7011.661	0.3117	0.3281	6576	11:23:18	O	1 hora después de calentamiento

## Capítulo 5. Conclusiones

---

En esta tesis se redujo el tiempo del proceso de calentamiento de espectaculares LED de 48 horas a 12 horas sin afectar el resultado de la calibración y la calidad de imagen, todo esto gracias a la caracterización previa del comportamiento del LED.

Con los resultados obtenidos de las múltiples pruebas que se realizaron en esta investigación se redujo el tiempo de calentamiento y se lograron los objetivos, lo cual se ve reflejado en reducción de costos, mejora de tiempo de entrega y una mayor capacidad de producción.

Esta investigación tiene su importancia ya que se establece los comportamientos del LED ante distintas situaciones, así como predecir su comportamiento bajo condiciones controladas, con lo cual se logró la reducción del tiempo de envejecimiento, se elimina la necesidad de calibración en sitio y se mejora el proceso de calibración, todo esto sin afectar la calidad visual de un espectacular o pantalla LED.

Cabe mencionar que, aunque se cumpliera con los objetivos y la hipótesis, siempre existe la posibilidad de variaciones o casos especiales que requerirían de un ajuste especial de calibración y esto viene dado debido a la tolerancia de los materiales y a las condiciones del equipo de medición (calibración, limpieza), Estos casos se contemplaron en el estudio dado que la fórmula de temperatura de color es una aproximación se da por sentado que estos casos sucederán los cuales son aceptables dado que el tiempo que se redujo del proceso de calentamiento y calibración compensa el tiempo de calibración de los gabinetes que estén fuera de especificación.

## Capítulo 6. Cronograma

Actividades	Junio					Julio					Agosto				Septiembre			
	WK23	WK24	WK25	WK26	WK27	WK28	WK29	WK30	WK31	WK32	WK33	WK34	WK35	WK36	WK37	WK38	WK39	WK40
Recopilación de muestras	X	X	X					X	X									
Medición de muestras con distintos vendedores de LEDs			X	X					X	X								
Análisis y correlación de resultados					X	X			X	X								
Aplicación de correcciones en el proceso						X	X	X				X	X					
Comprobación de resultados (Aging)							X	X										
Revisión de bibliografía						X	X				X	X						
Redacción de Tesis								X	X	X				X	X			
Pruebas en Campo									X	X	X	X	X	X				
Revisión de resultados en Campo												X	X	X	X			

## Literatura citada

---

Al Tahtamouni, T. (2016). Light Emitting Diodes. In B. Bhushan (Ed.), *Encyclopedia of Nanotechnology* (pp. 1782–1784). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9780-1\\_100897](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9780-1_100897)

Fu, Y. (2014). Semiconductor Materials. In *Physical Models of Semiconductor Quantum Devices* (pp. 1–66). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-7174-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-007-7174-1_1)

Departamento de energía renovable y eficiencia energética de Estados, September 2013, Mantenimiento de color de LED en aplicaciones de laboratorio y campo, consultado el 23 de Marzo de 2020, de <https://repository.si.edu/handle/10088/22182>

S. Patirnac y colaboradores, 2013, Variación de la cromaticidad con la temperatura de unión en LEDs de alta potencia, consultado el 23 de Marzo de 2020, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74017/Patirnac%3bSatorre%3bEduardo%20J.%20Gilbert%20-%20Variaci%3b3n%20de%20la%20cromaticidad%20con%20la%20temperatura.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Hong-Liang y colaboradores (2017) Lumen degradation analysis of LED lamps based on the subsystem isolation method, consultado el 23 de Marzo de 2020, de [https://www.researchgate.net/publication/322833593\\_Lumen\\_degradation\\_analysis\\_of\\_LED\\_lamps\\_based\\_on\\_the\\_subsystem\\_isolation\\_method](https://www.researchgate.net/publication/322833593_Lumen_degradation_analysis_of_LED_lamps_based_on_the_subsystem_isolation_method)

A. Estrada-Hernández y colaboradores, (2008), Mediciones en LEDs de Alta Intensidad, consultado el 15 de Abril de 2020, de [https://www.cenam.mx/simposio2008/sm\\_2008/memorias/S4/SM2008-S4B1-1015.pdf](https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S4/SM2008-S4B1-1015.pdf)

Dr. Lynn Davis y el departamento de energía de Estados Unidos, 2017, Luminaria LED Fiabilidad: impacto de Cambio de color, consultado el 15 de Abril de 2020, de [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/04/f34/lsrc\\_colorshift\\_apr2017.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/04/f34/lsrc_colorshift_apr2017.pdf)

Changjun Li y colaboradores, 2016, Metodo preciso para iterar la temperatura de color correlacionada, Consultado el 20 de abril de 2020, de <https://www.researchgate.net/publication/304006255>

Labouret, Anne Viloz, Michel. (2010). Solar Photovoltaic Energy - 2.1.2.2 Colour Temperature. Institution of Engineering and Technology. Obtenido de <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt008W1FK2/solar-photovoltaic-energy/colour-temperature>

## Anexos

Formato de Espacio de color CIE 1931

Westland S. (2016) The CIE System. In: Chen J., Cranton W., Fihn M. (eds) Handbook of Visual Display Technology. Springer, Cham

Tabla 1

[https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpETPSTPT5/cid:kt00BUUW5B/viewerType:khtml//root\\_slug:encyclopedia-thermal/url\\_slug:conventional-lighting?q=LEd%20function&sort\\_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&page=6&b-sort-on=default&b-content-type=all\\_references&include\\_synonyms=no&view=collapsed&zoom=1&q=LEd%20function](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpETPSTPT5/cid:kt00BUUW5B/viewerType:khtml//root_slug:encyclopedia-thermal/url_slug:conventional-lighting?q=LEd%20function&sort_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&page=6&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&include_synonyms=no&view=collapsed&zoom=1&q=LEd%20function)

Tabla 2

[https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpEMSTV001/cid:kt00B7A5X1/viewerType:khtml//root\\_slug:encyclopedia-materials/url\\_slug:light-emitting-diodes?q=LEd%20function&sort\\_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&page=3&b-sort-on=default&b-content-type=all\\_references&include\\_synonyms=no&view=collapsed&zoom=1&q=LEd%20function](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpEMSTV001/cid:kt00B7A5X1/viewerType:khtml//root_slug:encyclopedia-materials/url_slug:light-emitting-diodes?q=LEd%20function&sort_on=default&b-subscription=true&b-group-by=true&page=3&b-sort-on=default&b-content-type=all_references&include_synonyms=no&view=collapsed&zoom=1&q=LEd%20function)