

# SEMÁFOROS VEHICULARES A LED EN LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

**Pablo Ixtaina<sup>1</sup>, Pedro Adolfo Bazalar Vidal<sup>1</sup>, Fausto Brédice<sup>2</sup>,  
Jorge Reyna Almandos<sup>2</sup>, Maximiliano Diez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorio de Acústica y Luminotecnia de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires LAL CIC  
Camino Centenario e/505 y 508 (1897) Gonnet - Argentina  
Tel 54-221-4842686; Fax 54-221-4712721  
e-mail: pixtaina@yahoo.com

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones Ópticas CIOp  
P.O.Box 124 (1900) La Plata - Argentina  
Tel/Fax 54-221-4842957  
www.ciop.unlp.edu.ar

## RESUMEN

Entre las múltiples aplicaciones en las cuales los dispositivos generadores de luz de estado sólido (Leds) ganan terreno frente a las tradicionales fuentes luminosas, la señalización es un área con importantes desarrollos. Los semáforos para tránsito vehicular y peatonal a leds comenzaron a popularizarse desde mediados de la década de los 90, pero es indiscutible que las prestaciones de los leds se han incrementado notablemente en los últimos años, potenciando los diseños de equipos altamente eficientes.

Desde mediados de 2007 se impulsa en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina) un plan de mejora de los sistemas de señalización vial, que incluye el recambio de semáforos empleando cabezales a leds. Dada la multiplicidad de ofertas, se tornó prioritario la adquisición de equipamiento de asegurada calidad, motivo por el cual fue convocado el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia, Centro de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas, pionero en la región sobre Tecnología de Iluminación. Tomando como base recomendaciones CIE, ITE e IRAM se elaboró en forma conjunta con el gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires un programa de pruebas y ensayos para los equipos ofertados, centrado principalmente en estudiar las características fotométricas de emisión, sus propiedades cromáticas, mecánicas y eléctricas. Los resultados preliminares de esta labor se comentan en el presente artículo.

PALABRAS CLAVE: señalización, semáforos, leds.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las formas convencionales de generar luz a partir de energía eléctrica se basan en el fenómeno de incandescencia o la descarga en gases. En el primer grupo, un filamento es calentado por una corriente eléctrica a una temperatura tal que emite radiaciones visibles. Este es el principio de funcionamiento de las lámparas incandescentes convencionales y las halógenas, incluyendo todas sus variantes: lámparas tubulares, de pequeño tamaño, lámparas reflectoras, dicróicas, etc. A pesar que la eficacia de las lámparas incandescentes es extremadamente baja (aproximadamente 12 lm/W para las convencionales, hasta cerca de 25 lm/W en el caso de halógenas) múltiples razones han extendido su campo de aplicación aún en nuestros días. Uno de estos casos es el de semáforos para señalización vial. A las ventajas del bajo costo, facilidad de reemplazo, no uso de equipos auxiliares se le contrapone un rendimiento energético extremadamente bajo, ya que la luz generada por la fuente incandescente (con muy baja eficacia) es luego parcialmente absorbida por el refractor coloreado.

En los leds, la luz se obtiene a partir de fotones extraídos mediante corriente eléctrica, directamente de una pastilla de material semiconductor. Por este motivo y como forma de diferenciarlos de las lámparas predecesoras, es común la denominación de fuentes luminosas de “estado sólido”. En iluminación, su campo de aplicación gana terreno día a día. Aunque en el alumbrado general la relación costo – beneficio no ha superado a las lámparas de descarga, ofrecen importantes ventajas en el campo de la señalización. Se puede mencionar:

- Tamaño muy pequeño, e incluso la posibilidad de incorporar sistemas ópticos de enfoque dentro su encapsulado.
- Alta resistencia a golpes y vibraciones.
- Incremento en la eficacia, especialmente si se compara con fuentes incandescentes.

- Vida útil prolongada.
- Generación directa de luz coloreada (sin uso de filtros) y posibilidad de cambios de color.
- Procesos de fabricación que permiten proyectar un futuro bajo costo de producción.

## **2. LA CIUDAD DE BUENOS AIRES**

En la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, capital de la República Argentina, encontramos más de 3500 cruces de calles o avenida señalizados. La cantidad de equipos por intersección es variable, pero asignando un promedio (en realidad, más cercano a un mínimo) de cuatro, equipados con lámpara de 70 W, tres cabezales por equipo, se tendría un total de 2900 kW instalados. Considerando que al menos una lámpara por señal se enciende en cada ciclo, durante las 24 horas del día, la energía consumida diaria rondará los 24.000 kWh. Este monto es de importancia: en el alumbrado de una zona urbana suelen emplearse cuatro lámparas de descarga de 100 o 150 W cada 100 metros, tomando una utilización media de 10 horas /día, la energía consumida en señalización en la Ciudad sería equivalente a la usada para iluminar las calles de cerca de 1500 manzanas, lo que bien puede equipararse a una pequeña ciudad.

En el caso de cabezales a leds, la potencia estaría entre 5 y 10 W, con lo que la energía consumida sería de 7 a 14 veces menor. Adicionando las ventajas mencionadas propias de los leds (mayor vida útil, resistencia mecánica) el ahorro energético se complementaría con menores costos de mantenimiento y reposición. El recambio resulta ventajoso y la cuestión central planteada por el Gobierno de la Ciudad fue cómo asegurar prestaciones fotométricas y mecánicas equivalentes, tema que requiere un cuidadoso estudio cuando se trata de productos innovadores.

## **3. VERIFICACIÓN DE LAS PRESTACIONES.**

La multiplicidad de ofertas, sumado a lo acotado de los plazos disponibles motivó la definición de un conjunto mínimo de ensayos posibles de ejecutar. Se establecieron un conjunto de pruebas destinadas a estudiar las prestaciones fotométricas, cromáticas y un conjunto mínimo de características de funcionamiento: hermeticidad, estanquidad, resistencia a las condiciones ambientales y características eléctricas de funcionamiento. La tabla 1 sintetiza las pruebas propuestas:

**Tabla 1. Ensayos propuestos.**

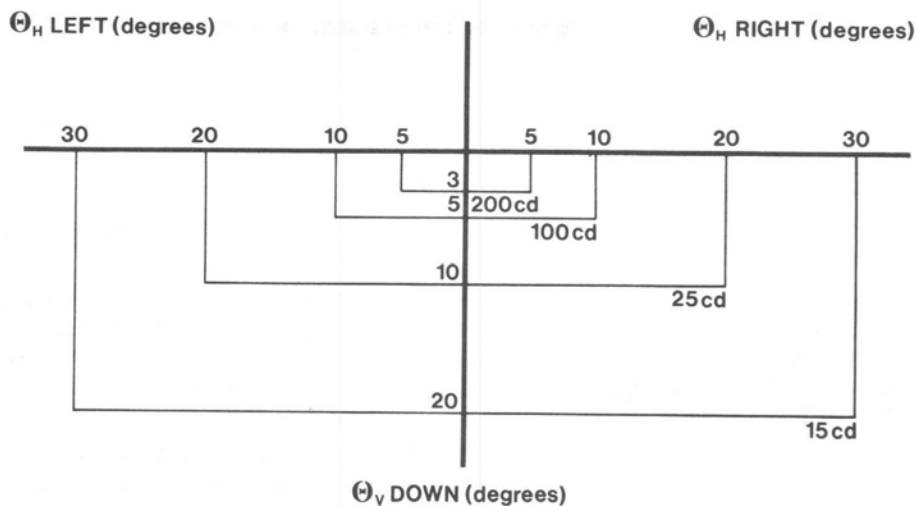
Punto	Ensayo	Descripción	Observaciones
1	Encendido inicial	24 horas con el ciclo de trabajo normal a 60°C	Detección de fallas gruesas
2	Inspección visual	Verificación de características constructivas, montaje, etc.	
3.1	Características lumínicas: Ensayo fotométrico	Verificación de las intensidades luminosas	Valores fotométricos iniciales
3.2	Características lumínicas: Cromaticidad	Obtención de las coordenadas cromáticas y Verificación de correspondencia con las prescripciones	Colores iniciales
4.1	Características eléctricas. Funcionamiento	Medición de potencia, corriente, factor de potencia y THD a tensión nominal	Valores eléctricos iniciales
4.2	Características eléctricas. Seguridad	Ensayo de resistencia a la humedad y aislación	
5	Vibraciones	Resistencia a las vibraciones	Verificación de condiciones de armado y sujeción de componentes
6.1	Requisitos físicos y mecánicos. Cierre	Ensayo de hermeticidad al polvo y estanquidad al agua de lluvia	
6.2	Requisitos físicos y mecánicos. Rango de temperatura	Funcionamiento a alta y baja temperatura	Verificación del funcionamiento en condiciones ambientales severas
6.3	Requisitos físicos y mecánicos. Resistencia a las condiciones ambientales	Ciclado térmico con radiación UV-visible (luz solar)	Verificación de la estabilidad del color y componentes con las condiciones de uso
7.1	Características lumínicas mantenidas. Fotometría - Color	Medición de intensidades luminosas y color luego del ciclado térmico	

Las pruebas anteriores deberían regirse por una normativa a adoptar. En el caso de recomendaciones nacionales, IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) mantiene vigente una Norma sobre semáforos de más de 30 años de

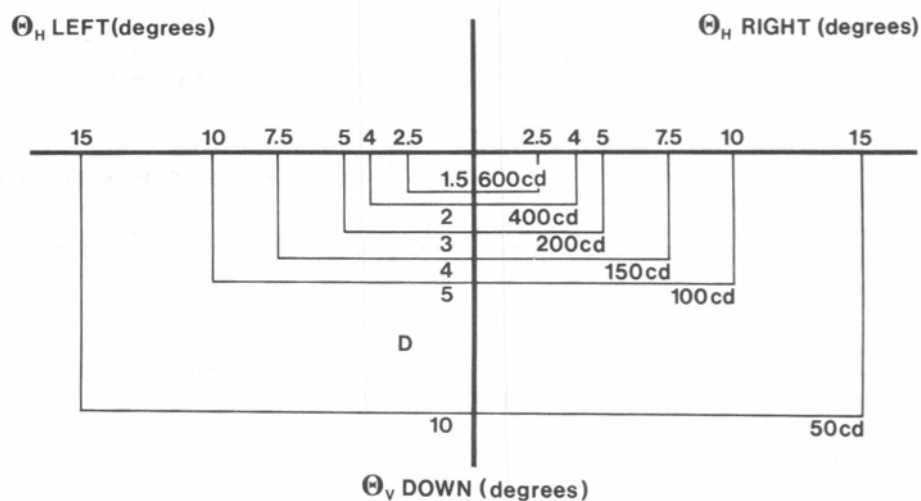
antigüedad que lógicamente no incorpora equipos con tecnología a leds. Por cuestiones relativas a usanzas y acuerdo entre partes se decidió emplear como referencia las recomendaciones ITE (Institute of Transportation Engineers). Sin embargo, el estudio de diferentes alternativas en cuanto a normalización, evidenció una importante multiplicidad de exigencias para la misma función, variantes que afectan principalmente a los requisitos fotométricos y cromáticos.

#### 4. VALORES FOTOMÉTRICOS.

El reemplazo de una unidad convencional (con lámpara incandescente) por otra a led no debería acarrear alteraciones en las condiciones de percepción. De aquí surge que las intensidades luminosas requeridas y su distribución deberían ser iguales o al menos equivalentes. La figuras 1 y 2 reproducen la recomendación de la Comisión Internacional de Alumbrado CIE, que si bien por su fecha de redacción (1980) no incorpora leds, indica valores generales que sirven de referencia para que cada país confeccione su normativa local. Se destaca que más allá del tipo de fuente luminosa que las genere, las intensidades están basadas en estudios de percepción de la señal, velocidad de la arteria y adecuada distancia de frenado.



**Figura 1.** Recomendación CIE/1980 para señales rojas. (“baja intensidad”)



**Figura 2.** Recomendación CIE/1980 para señales rojas (“Alta intensidad”).

Los niveles de la figura 1 asumen que la señal está dispuesta sobre una pantalla de fondo, con un ancho mínimo superior a tres veces el diámetro de la señal. El tránsito es en zona urbana, velocidad moderada y alrededores o luces de fondo bajas. Los valores de la figura 2 en cambio, prevén velocidades más altas, con distancias de frenado de 240 m. Se aplican en áreas urbanas con una considerable cantidad de luces de fondo.

En cuanto a la relación de intensidades para los colores restantes, hasta esa fecha no existían estudios congruentes sobre el tema, aunque la tendencia era usar para los cabezales verdes y amarillos valores mayores: relación 1,3:1 en el primer caso y 3:1 en el amarillo.

La tabla 2 resume los valores prescritos por la recomendación ITE 1998, en este caso específicamente para semáforos a leds. Si consideramos al cabezal de 200 mm (8 pulgadas) como de baja intensidad y al de 300 mm (12 pulgadas) como de alta, los

valores en el color rojo resultan comparables aunque ligeramente menores en ITE frente a los propuestos por CIE.

**Tabla 2.** Intensidades según ITE 1998.

**Table 1. Maintained Minimum Luminous Intensity for LED Signal Modules Candelpower Values (candelas (cd))**

Vertical Angle Down	Horiz. Angle Left & Right	8-inch Signal			12-inch Signal		
		Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green
		2.5°	133	617	267	339	1571
2.5°	7.5°	97	449	194	251	1159	501
	12.5°	57	292	113	141	655	283
	17.5°	25	112	46	77	355	154
	2.5°	101	468	202	226	1047	452
7.5°	7.5°	89	411	178	202	935	404
	12.5°	65	299	129	145	673	291
	17.5°	41	187	81	89	411	178
	22.5°	18	84	37	38	178	77
	27.5°	10	47	20	16	75	32
12.5°	2.5°	37	168	73	50	234	101
	7.5°	32	150	65	48	224	97
	12.5°	28	131	57	44	206	89
	17.5°	20	94	41	34	159	69
	22.5°	12	58	25	22	103	44
	27.5°	9	37	16	16	75	32
17.5°	2.5°	18	75	32	22	103	44
	7.5°	14	65	28	22	103	44
	12.5°	10	47	20	22	103	44
	17.5°	9	37	16	22	103	44
	22.5°	6	28	12	20	94	41
	27.5°	4	19	9	16	75	32

Sin embargo, la relación intensidad amarilla/roja es mayor, del orden de 4,5:1. Algo similar ocurre con la relación Verde/rojo: aproximadamente 2:1 en ITE contra 1,3:1 en CIE.

La versión más actual de ITE (2005) modifica estos valores, tal como se ve en la tabla 3. En líneas generales, la intensidad en amarillo se redujo a valores que rondan las 400 cd y 900 cd respectivamente para las secciones de tamaño chico y grande respectivamente.

**Tabla 3. Intensidades según ITE 2005.**

Minimum Maintained Luminous Intensity Values—VTCSH LED Circular Signal							
Vertical Angle	Horizontal Angle	Luminous Intensity (candela)					
		200mm (8-inch)			300 mm (12-inch)		
		Red	Yellow	Green	Red	Yellow	Green
+12.5	2.5	17	41	22	37	91	48
	7.5	13	33	17	29	73	38
+7.5	2.5	31	78	41	69	173	90
	7.5	25	62	32	55	137	71
	12.5	18	45	24	40	100	52
+2.5	2.5	68	168	88	150	373	195
	7.5	56	139	73	124	309	162
	12.5	38	94	49	84	209	109
	17.5	21	53	28	47	118	62
	22.5	12	29	15	26	64	33
-2.5	2.5	162	402	211	358	892	466
	7.5	132	328	172	292	728	380
	12.5	91	226	118	201	501	261
	17.5	53	131	69	117	291	152
	22.5	28	70	37	62	155	81
	27.5	15	37	19	33	82	43
-7.5	2.5	127	316	166	281	701	366
	7.5	106	262	138	234	582	304
	12.5	71	176	92	157	391	204
	17.5	41	103	54	91	228	119
	22.5	21	53	28	47	118	62
	27.5	12	29	15	26	64	33
-12.5	2.5	50	123	65	110	273	143
	7.5	40	98	52	88	218	114
	12.5	28	70	37	62	155	81
	17.5	17	41	22	37	91	48
	22.5	8	21	11	18	46	24
	27.5	5	12	6	11	27	14
-17.5	2.5	23	57	30	51	127	67
	7.5	18	45	24	40	100	52
	12.5	13	33	17	29	73	38
	17.5	7	16	9	15	36	19
	22.5	3	8	4	7	18	10
-22.5	2.5	17	41	22	37	91	48
	7.5	13	33	17	29	73	38
	12.5	10	25	13	22	55	29
	17.5	5	12	6	11	27	14
-27.5	2.5	12	29	15	26	64	33
	7.5	8	21	11	18	46	24

En síntesis, no hay un acuerdo general de matrices de valores que pueda calificarse como las “intensidades óptimas” desde el punto de vista de percepción, consumo, etc. Más aún, si se analiza en forma más amplia la normativa vigente en países europeos o asiáticos la disparidad es mayor. Esto se debe sin duda a la multiplicidad de factores que intervienen en el fenómeno de percepción de la señal y las particularidades de éstos: velocidades límites y reales, uso de pantallas, cantidad de cabezales por cruce, etc. Habría dos cuestiones a remarcar producto de este hecho:

- Ante la falta de una normativa nacional o regional, es necesario un estudio minucioso de la situación particular para poder definir los valores de intensidades más aconsejables.

- Los fabricantes naturalmente generarán productos que puedan adaptarse a las distintas recomendaciones, de modo que deberá cuidarse que los modelos a instalar sean los adecuados. Se imponen así ensayos fotométricos.

## 5. COLOR

En el caso de luces para señalización, es importante poder cuantificar adecuadamente su color, para posteriormente reproducirlo en forma inequívoca. De los métodos existentes, el más usado en normalización es el de la CIE, basado en la descomposición de la luz a evaluar en tres colores primarios imaginarios, los *valores triestímulo*. La representación en un plano de la proyección de los valores triestímulo genera el diagrama de cromaticidad CIE (figura 3). En él, las radiaciones monocromáticas puras se ubican sobre la curva envolvente que encierra las distintas posibilidades de color.

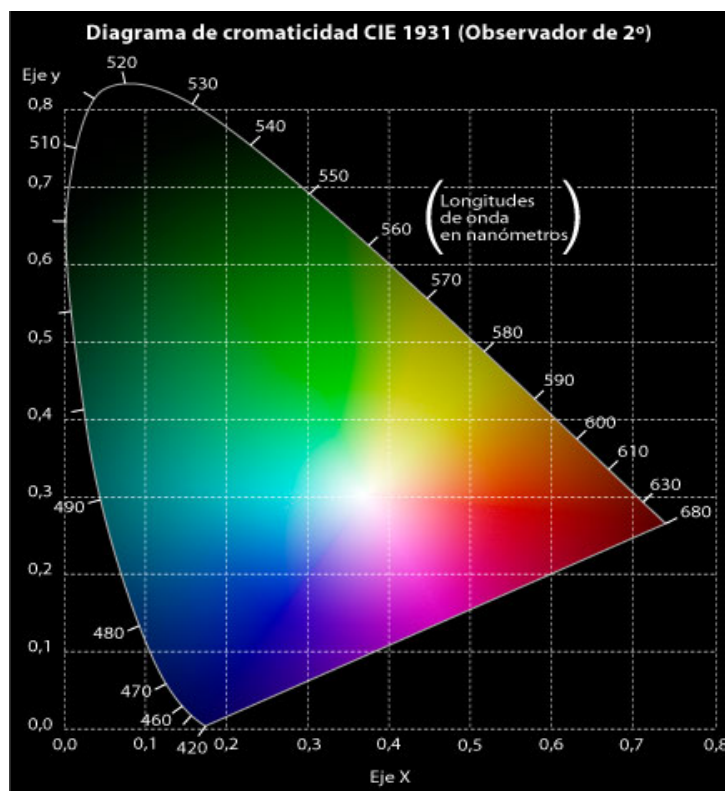
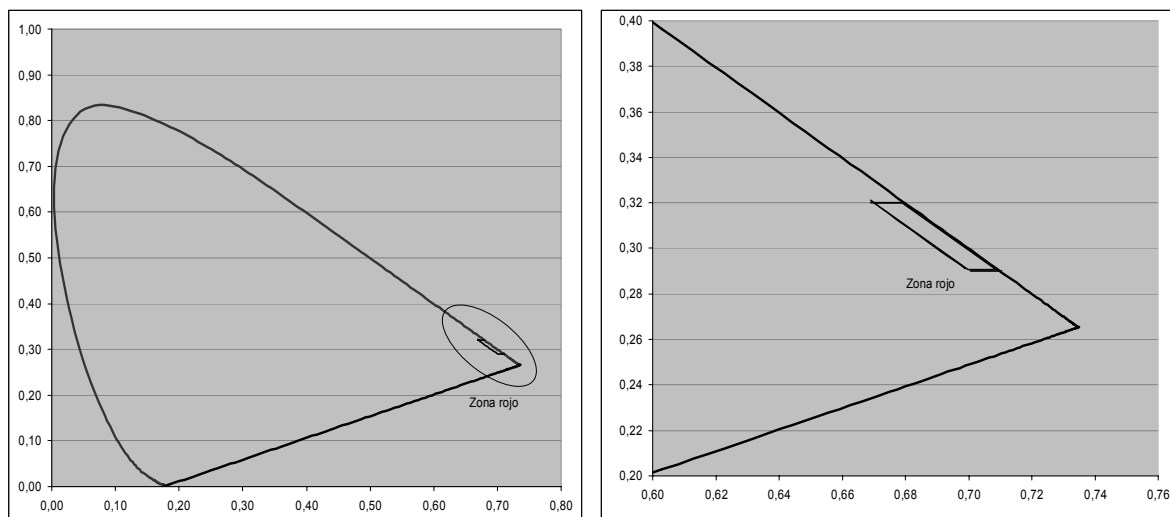


Figura 3. Diagrama de cromaticidad CIE.

Empleando este sistema se han definido regiones dentro del diagrama que se corresponden con los principales colores, estableciendo en forma precisa límites de acuerdo a las necesidades de diferenciación. Así, por ejemplo, el color rojo (CIE/1980) para señales luminosas en el tránsito vehicular, se define dentro de una zona limitada por las ecuaciones indicadas en la tabla 4 y representadas en la figura 4.

**Tabla 4.** Color rojo CIE para señales luminosas en tránsito vehicular.

Límite	Ecuación
Púrpura	$y = 0,990 - x$
Amarillo	$y = 0,320$
Rojo	$y = 0,290$



**Figura 4.** Zona rojo CIE para señales luminosas en tránsito vehicular

En este tema se produce también una falta de criterio único: Los límites de cada color pueden definirse en forma restrictiva, cuando se estima que las probabilidades de confusión son altas, o en forma amplia. A modo de ejemplo, las figuras 5 y 6 reproducen los límites “verdes” para CIE (1980) e ITE (2005).

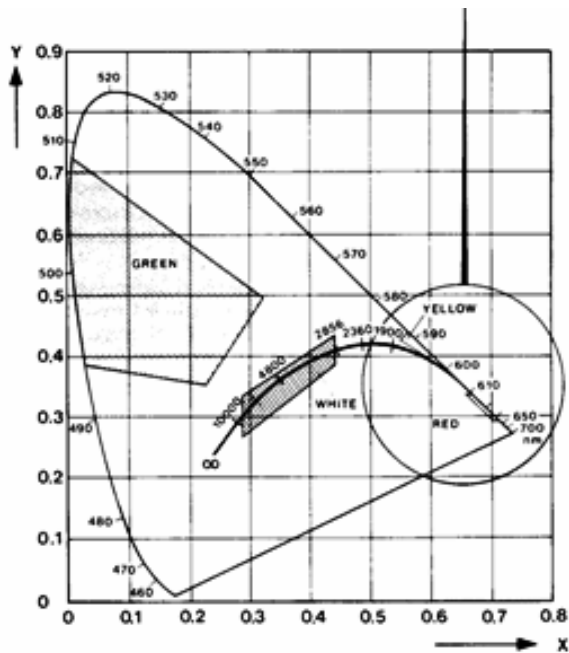


Figura 5. Verde CIE 1980

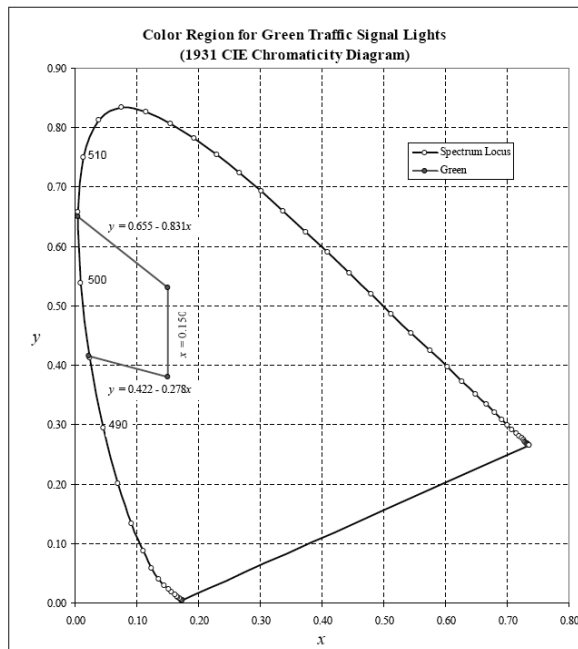


Figura 6. Verde ITE 2005

Sobre este punto es importante destacar dos tipo de productos: los que poseen los leds visibles directamente (o a través de una protección incolora) y los cabezales que

incorporan un refractor coloreado. En el primer caso, el color está definido por la emisión del led y más precisamente por las características de su juntura, la que debería coincidir con el color especificado. En el segundo grupo, el color final es el resultado de la combinación de la luz del led y el refractor y es esta composición la que deberá asegurar la cromaticidad buscada. Finalmente, es importante contemplar las posibles variaciones a causa de la exposición a la radiación solar y condiciones ambientales, que deberían mantenerse acotadas durante la vida esperada del producto.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Pruebas fotométricas

Los diagramas de intensidad luminosa se midieron empleando un goniofotómetro, equipo compuesto por un fotodetector de precisión, termostatzado y con adaptación muy fina a la curva espectral normalizada. Esta última característica es de máxima importancia por tratarse de mediciones de luz coloreada. El equipo bajo ensayo se monta en un goniómetro que posibilita los abatimientos necesarios para medir los valores requeridos. La figura 7 esquematiza el dispositivo usado, basado en la denominada “ley de inversa del cuadrado”.



**Figura 7.** Medición de las intensidades luminosas en goniofotómetro.

En la tabla 5 se muestran los valores medidos para una de las muestras estudiadas. Los cabezales rojo y verde superan los valores de ITE 2005 (incluso en el caso del verde, puede agregarse ampliamente o en exceso). No ocurre lo mismo con el amarillo, cuyos valores están por debajo de lo exigido para este caso particular.

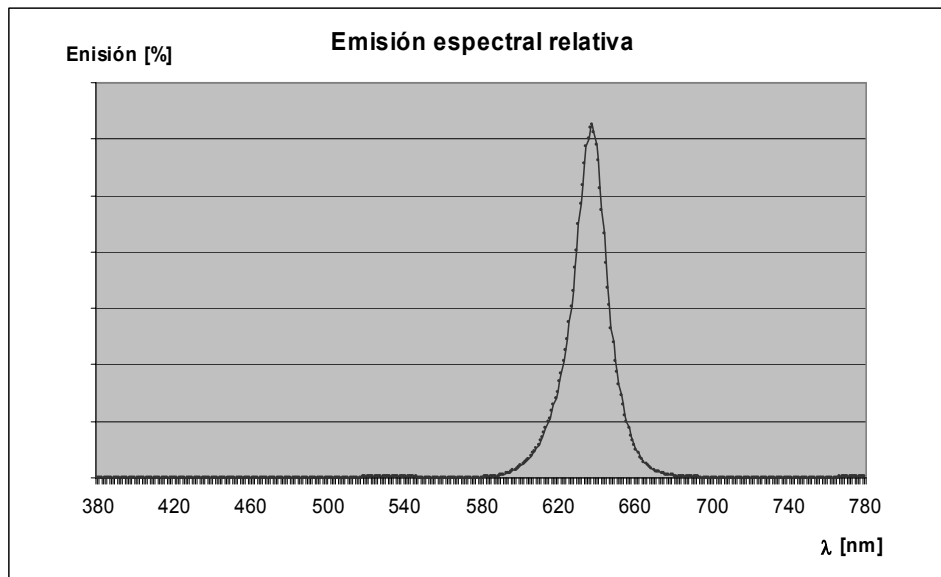
**Tabla 5.** Valores medidos.

Ángulo Vertical (Hacia abajo)	Ángulo Horizontal (promedio der./izq.)	Intensidades luminosas (cd)		
		300 mm Rojo	300 mm Amarillo	300 mm Verde
2,5	2,5	528	450	950
	7,5	420	370	630
	12,5	178	205	301
	17,5	132	150	172
	22,5	37	35	98
	27,5	13	15	33
7,5	2,5	358	360	550
	7,5	275	300	402
	12,5	173	180	280
	17,5	125	123	203
	22,5	75	75	109
	27,5	35	32	60
12,5	2,5	116	153	171
	7,5	104	144	150
	12,5	103	124	146
	17,5	90	109	137
	22,5	85	72	110
	27,5	32	61	72
17,5	2,5	50	58	81
	7,5	44	54	73
	12,5	40	50	79
	17,5	31	46	62
	22,5	25	30	53
	27,5	19	29	35

## 6.2 Evaluación cromática

Las coordenadas cromáticas se obtuvieron a partir de la medición de la curva de emisión espectral. Se utilizó un espectrógrafo “Mechelle 900”, con una red de difracción tipo Echelle, equipo que permite discriminaciones menores a 0,5 nm. La totalidad de los cabezales estudiados combinaban leds de color con refractores también coloreados, de

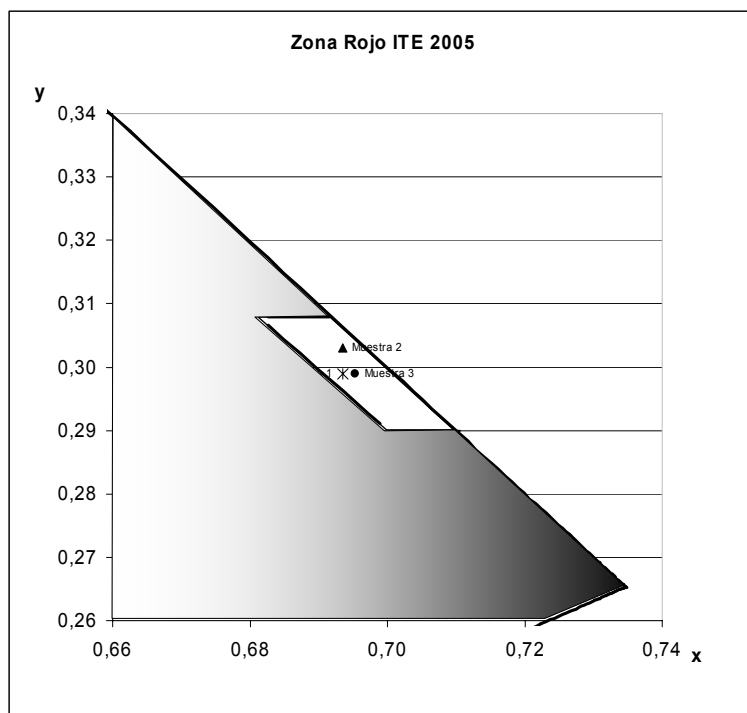
modo que la medición se realizó explorando la superficie del equipo completo. La figura 8 muestra una de las curvas relevadas, en este caso un cabezal rojo.



**Figura 8.** Emisión de un cabezal rojo.

Empleando un programa de cálculo, la curva de emisión se descompone en función de los valores triestímulo, con lo que se obtienen las coordenadas cromáticas. La figura 9 muestra algunos de los resultados obtenidos (cabezales rojos).

Sintetizando el resultado de estas pruebas, se encontraron cabezales con colores acordes con la normativa ITE (como los indicados en la figura 9) y muestras particulares con discrepancias, resultando el color verde el más afectado.



**Figura 9.** Coordenadas cromáticas.

## 7. CONCLUSIONES

Por tratarse de un producto con tecnología innovadora parecería que las ventajas del Led frente a las fuentes incandescentes se traducirían automáticamente en productos con mejores prestaciones. La experiencia indica que esto no es necesariamente así, demostrando que la realización de ensayos o verificaciones es un camino conducente a mejorar la calidad de los equipos adquiridos, fenómeno que adquiere relevancia en un caso como el descrito que involucra al sector público.

Por otro lado, es interesante resaltar la necesidad de estudiar cada caso particular para definir en forma óptima los parámetros lumínicos, y adoptar finalmente la normativa que más se adecue a la situación local.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE - CIE. 1980. *Light signals for road traffic control*. Publication CIE N° 48. Paris, Francia.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS – ITE. 1998. *Vehicle Traffic Control Signal Heads VTCSH – Part 2*. Washington, USA.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS – ITE. 2005. *Vehicle Traffic Control Signal Heads VTCSH – Circular Signal Supplement*. Washington, USA.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE- CIE. 2004. *Colorimetry*. Publication CIE N° 15 (Viena, Austria).

Malacara, Daniel. 2002. *Colour, Vision and Colorimetry – Theory and applications*. Washington, USA. SPIE press.

MK PHOTONICS INC., “Mechelle 900 Specification”, [www.mkphotonics.com](http://www.mkphotonics.com)

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a la CIC, donde F.B., P.I. y J.R.A. son Miembros de la Carrera de Investigador Científico y Tecnológico, P.A.B.V es profesional y M.D. es becario.