

TRABAJO ACADÉMICAMENTE DIRIGIDO

**MEDIDA DE LA LUMINOSIDAD DE
FONDO DE CIELO DEL
OBSERVATORIO DE U.C.M.**



ALUMNO: LUIS ALEJANDRO RAMÍREZ GONZÁLEZ.

Curso 2000-2001

PROFESORES: JAIME ZAMORANO JESÚS GALLEGO.

Depto. de Astrofísica y CC. De la Atmósfera

=

Universidad Complutense de Madrid

En la realización de este trabajo académicamente dirigido subyace una oposición hacia el fenómeno, cada vez más agudo, de la contaminación lumínica. Este tipo de agresión al medioambiente no sólo ataca directamente los intereses de la astronomía a todos sus niveles, amateur y profesional, sino que afecta los ciclos biológicos de los seres vivos que lo sufren y es provocado por un gasto de energía excesivo que no crea ningún beneficio económico.

En la revista *Sky&Telescope* de Febrero del 2001 se incluía un pequeño artículo (“*A simple Dark-Sky Meter*”) donde se proponía un aparato capaz de medir la intensidad lumínica del cielo. Lo interesante de este aparato es que permite hacer rápidas medidas, y que su sencillez es muy alta. Un fotómetro es capaz de dar lecturas más precisas, pero por lo general estas se reducen a un espacio muy pequeño de la bóveda celeste (este es al menos el caso del fotómetro de nuestra facultad). Este medidor sin embargo tiene un gran campo, que permite hacer un mapeado del cielo con muy pocas medidas.

Básicamente el aparato (MeCO) consiste en un LED de luminosidad variable que debemos ajustar al brillo de fondo de cielo que ve nuestro ojo. Por lo tanto la medida que nosotros tomamos no es de cuentas/segundo (fotómetro) sino que medimos intensidad de corriente que atraviesa el LED. Una parte del trabajo está dedicado a la calibración, o lo que es lo mismo a la conversión de amperios a flujo de cuentas/segundo. Para esta parte el MeCO fue puesto en paralelo con el telescopio Celestron11 (cúpula oeste) de la facultad con el fotómetro incorporado, después se tomaron medidas simultáneas con los dos dispositivos.

Aunque en un principio sólo había que hacer mediciones del cielo sobre nuestra facultad, rápidamente se decidió que la mejor manera de ver la calidad del cielo de Madrid es comparándola con otros cielos. Por eso el trabajo incluye mediciones Guadalajara capital, como ejemplo de núcleo urbano pequeño, y en Yebes (Guadalajara), por tener un observatorio profesional.

Por último reseñar que hay pequeñas observaciones realizadas con diferentes fines, como por ejemplo la variación temporal de luminosidad en una puesta de Sol, mediciones de la luminosidad despedidas por las Torres KIO y Torre Picaso, efectos de la luminosidad de una la Luna (cuarto creciente) y el efecto de Madrid sobre el cielo de Yebes.

Concluyendo, se ha construido un medidor ligero, transportable, barato y científicamente útil para medir la luminosidad de cielo. Sólo queda por probar como se mantienen las medidas si el sujeto que lo maneja cambia. Este hecho sería interesante estudiar en el futuro, porque el ojo humano entra dentro de la medición con la subjetividad que ello conlleva.

1.0 INTRODUCCIÓN

Durante millones de años, los seres vivientes de la Tierra han ido adaptando sus procesos biológicos de acuerdo con dos ciclos astronómicos fundamentales: la sucesión de las estaciones y la alternancia día-noche. Dado que la percepción de ambos fenómenos es desigual según la latitud, las distintas especies se han acomodado a la singularidad de ambos ciclos en su hábitat. Cualquier perturbación en alguno de ellos originaría distorsiones cuyo alcance desconocemos, pero que, con toda seguridad, ocasionarían la extinción de algunas especies y la aparición de nuevas exigencias adaptativas para las demás.

La acción del hombre y su cultura sobre el medio ambiente está, en la actualidad, generando una seria alteración en ambos ciclos cósmicos. La actividad industrial y las formas de vida propias de las sociedades consumistas no se pueden sostener, de mantenerse el actual modelo de economía capitalista, sino es mediante un creciente consumo energético. Niveles más elevados de "bienestar" exigen consumir cada vez más energía, proceso que amenaza con conducir a situaciones aberrantes como, por ejemplo, la de que, actualmente, gaste 100 veces más energía un ciudadano de un país industrializado que un habitante del tercer mundo. El consumo responsable de energía debería ser algo consubstancial a la educación cívica de la población por dos motivos. El primero de ellos: porque el actual modelo de consumo energético se basa en la conversión en energía de recursos naturales no renovables (carbón, petróleo o uranio), con lo cual su despilfarro acorta el tiempo de uso y priva de su disfrute a los habitantes de países no desarrollados. El segundo: porque en los procesos de conversión en energía, transporte y su posterior consumo, se generan residuos que contaminan gravemente el medio ambiente (radioactividad, lluvia ácida, contaminación de los mares, contaminación atmosférica por humos tóxicos) y amenazan con alterar el equilibrio climático (efecto invernadero por emisión de CO₂). En la actualidad, el calentamiento global del planeta debido a este efecto es ya una evidencia científica y sus efectos devastadores sobre el clima son crecientes: lluvias torrenciales, huracanes catastróficos, inundaciones, sequías prolongadas, deshielo de los casquetes polares y un lamentable y futuro largo etcétera.



FOTO 1, La Tierra de noche nos muestra las áreas más pobladas y ricas del planeta.

Si bien la contaminación atmosférica por el CO₂ emitido por las centrales térmicas de producción de electricidad, las industrias y los automóviles, es la principal responsable del efecto invernadero que amenaza el equilibrio climático de la Tierra, el uso excesivo e irresponsable de la energía eléctrica en el alumbrado de exteriores es la causa de una nueva agresión medioambiental que amenaza ni más ni menos que con eliminar la noche, alterando así el segundo ciclo cósmico fundamental. El fenómeno ya tiene un nombre: contaminación lumínica.

Con este nombre se designa la emisión directa o indirecta hacia la atmósfera de luz procedente de fuentes artificiales, en distintos rangos espectrales. Sus efectos manifiestos son: la dispersión hacia el cielo (skyglow), la intrusión lumínica y el sobreconsumo de electricidad.

La dispersión hacia el cielo se origina por el hecho de que la luz interactúa con las partículas del aire, desviándose en todas direcciones. El proceso se hace más intenso si existen partículas contaminantes en la atmósfera (humos, partículas sólidas) o, simplemente, humedad ambiental. La expresión más evidente de esto es el característico halo luminoso que recubre las ciudades, visible a centenares de kilómetros según los casos, y las nubes refulgentes como fluorescentes. Como detalle anecdótico e ilustrativo se puede mencionar el hecho de que el halo de Madrid se eleva 20 Km. por encima de la ciudad y el de Barcelona es perceptible a 300 Km de distancia.

La intrusión lumínica se produce cuando la luz artificial procedente de la calle entra por las ventanas invadiendo el interior de las viviendas. Su eliminación total es imposible porque siempre entrará un cierto porcentaje de luz reflejada en el suelo o en las paredes, pero de aceptar esto a tener que tolerar como inevitables ciertos casos aberrantes de descontrol luminotécnico, como poner globos sin apantallar frente a las ventanas, o iluminar fachadas con potentes focos, hay un abismo. Al no existir conciencia ciudadana de que esto es una nada sutil forma de agresión medioambiental, nadie piensa en denunciarlo, excepto en casos contados de protestas multitudinarias de vecinos. No existen, que yo sepa, estudios rigurosos acerca del grado de afectación de la luz artificial sobre el hombre, aunque ciertos casos curiosos parecen apuntar hacia una conexión entre el uso de bombillas de Vapor de Mercurio (luz blanca) y la exteriorización de mayores índices de agresividad.

De todos modos, hay un punto que resulta evidente: si, como parece, los ciclos corporales están en sintonía con los ciclos naturales de la luz, la presencia de ésta en el ambiente durante el sueño puede ser causa de alteraciones todavía no completamente identificadas. Recientemente, se ha descubierto que el uso de luces tipo "led" en habitaciones de niños pequeños es desaconsejable porque produce alteraciones en el sueño. Ahora bien. Hay un caso de trastorno evidente: el de aquellas personas que en verano necesitan imperiosamente abrir la ventana para dormir y no pueden hacerlo si tienen la desventura de tener un foco luminoso frente a ella: sueño inquieto, ausencia de reposo, insomnio, cansancio y nerviosismo son las consecuencias más usuales.

El sobreconsumo, finalmente, es la consecuencia indeseada e inevitable de los factores anteriormente descritos. Si éstos se evitaran, ahorraríamos porcentajes mínimos de un 25% en la factura de la luz, pudiéndose alcanzar porcentajes mayores del 40% en ciertos casos, si existiera la voluntad de utilizar lámparas de sodio de baja presión y se hiciera una fuerte apuesta por rebajar potencias en las luminarias. Porque lo cierto es que hasta el presente ha existido una especie de contubernio entre las compañías eléctricas y los fabricantes de luminarias y de bombillas, por el cual unos y otros han hecho del exceso de consumo su principal negocio. Las eléctricas porque mayor consumo equivalía hasta ahora a tener un mayor beneficio y los fabricantes de bombillas y de luminarias porque cuanto mayor sea la potencia que se instale, tanto más se encarece el producto, reduciéndose, además, su vida útil. Por razones coyunturales, ahora el negocio parece desplazarse hacia la política de ahorro en el consumo, por lo cual, en principio, no existe aparente oposición por su parte a reducir la contaminación lumínica. Por otro lado, la exigencia de ofrecer al mercado nuevas luminarias no contaminantes y lámparas más eficientes, puede suponer, incluso un revulsivo para la competitividad del sector.

La emisión indiscriminada de luz hacia el cielo y su dispersión en la atmósfera constituyen un evidente atentado contra el paisaje nocturno, al ocasionar la desaparición progresiva de los astros. Algunos de ellos no tienen un brillo puntual como las estrellas, sino que son extensos y difusos (las nebulosas y las galaxias) y, por esta razón, son los primeros en resultar afectados. Su visión depende del contraste existente entre su tenue luminosidad y la oscuridad del fondo del cielo. Al dispersarse la luz, éste se torna gris y estos objetos desaparecen. El ejemplo más notable de esta especie de "asesinato celeste" lo constituye la desaparición total de la visión del plano de la Vía Láctea.



FOTO 2, Farolas que no contaminan el cielo.

La contaminación lumínica posee la curiosa cualidad de poderse evitar ahorrando dinero y aunque siendo sinceros no es tan problemática como la contaminación que provocan los humos o el ruido, no se puede entender como no se hacen esfuerzos para eliminarla o en su defecto minimizarla. Lo que parece más probable es que existe una gran desinformación por tratarse de un fenómeno relativamente nuevo y no se le tome en serio hasta que como otras tantas cosas no sea un problema serio para la salud. Quiero resaltar la palabra serio, porque ahora ya es un problema para la salud. Nadie muere por ello, pero provoca trastornos en el sueño, en los ciclos biológicos de los seres vivos que lo sufren y más trastornos que todavía no han sido estudiados, pero sí observados.

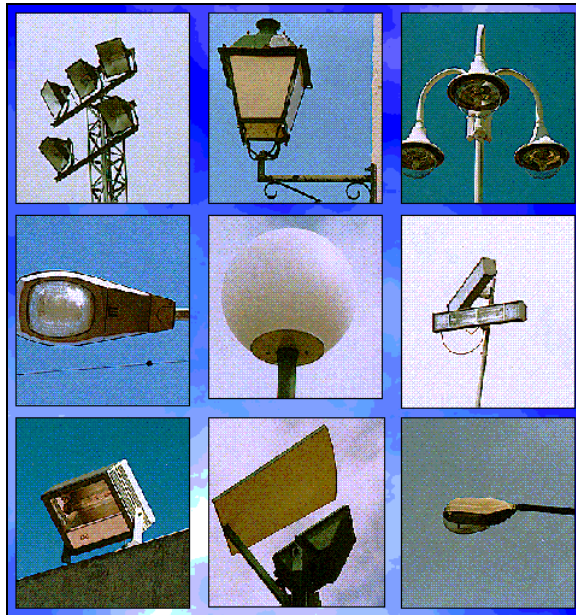


FOTO 3, Farolas que sí contaminan el cielo.

Para combatir este tipo de agresión medioambiental es necesario la aparición de leyes que rigan las emisiones de luz al cielo. Con este fin nació la organización IDA (International Dark-Sky Association). La IDA fue fundada por David Crawford, un astrofísico retirado. Poco a poco esta organización pionera fue consiguiendo leyes con el objetivo de proteger el cielo. Al poco tiempo otras asociaciones de este estilo aparecieron después en el resto de países. Y con más o menos éxito intentan sacar adelante leyes que regulen las emisiones de luz al cielo. En España las leyes las están consiguiendo las asociaciones amateur en sus diferentes localidades. En este aspecto merece especial mención la asociación de Figueres. También ha habido logros en Córdoba y la Generalitat catalana. También está la ley de protección del cielo de Las Canarias que era requisito previo al gobierno español para que los observatorios europeos colocasen allí sus grandes telescopios.

2.0 MEDIDOR DE CIELO OSCURO (MeCO).

El MeCO es un aparato inspirado en el artículo: (“ A Simple Dark-Sky Meter ”) de la revista *Sky&Telescope* de Febrero del 2001 (este artículo viene fotocopiado en el apéndice B al final del trabajo.). En el se expone un sencillo aparato capaz de medir la luminosidad del cielo. El aparato consiste básicamente en un tubo con un LED en un extremo de luminosidad variable, y un pequeño circuito que permite manejar esta variación.



FOTO 4 , Vista general del MeCO

SU CONSTRUCCIÓN

Los materiales necesarios para su construcción han sido los siguientes:

- Tubo de PVC de 3 pulgadas (fontanería)
- Junta de goma blanca para esos tubos
- Tubo de PVC de 1 pulgada
- Elipse de contraplaqué
- Espejo pequeño
- Cable

- Caja de plástico 10x3x5 cm
- Interruptor
- Resistencias de 1,2 K Ω , 220 Ω , 47 K Ω .
- Resistencia variable de 100 K Ω
- Transistor BC547
- LED verde
- Amperímetro
- Pila de 9V
- Plástico verde rígido (filtro)
- Trípode fotográfico con escala de ángulos graduada.

Estos materiales junto al pegamento y la cinta aislante son todos los componentes del MeCO.

La construcción es similar a un periscopio, exceptuando que en la parte frontal debemos poner un filtro verde (el verde es el color de los filtros del visible). Sobre el filtro verde nos las tenemos que arreglar para fijar el LED, quedando este mirando hacia dentro. Se puede observar en la foto como debe quedar:



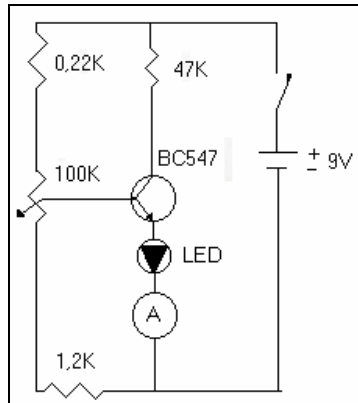
FOTO 5, Detalle del frontal de MeCO. Obsérvese la complicada posición del LED verde

La fragilidad del LED en esa posición hizo que tuviese que poner cinta aislante fijando el cable fuertemente al exterior del tubo, sino cada pequeño tirón haría saltar el LED de su posición.

En la panza del tubo, por la parte de fuera tenemos que acoplar una zapatilla para poder acoplarlo a los trípodes fotográficos. En mi caso la zapatilla es de madera, y está hecha a mano.

La parte en la que más me quiero centrar es en la construcción del circuito, ya que como veremos tiene diferencias con el circuito propuesto por el artículo de la revista.

DATO: Si el coste total del invento ronda las 1500 ptas la caja de la que se fabricó el mando costó 900 ptas.



Podemos observar y comparar con el circuito del apéndice B del trabajo como la disposición y valor de las resistencias ha variado. Esto es debido a que el circuito del artículo no funciona. Para ser justos, funciona pero muy mal, haciendo imposible tomar datos con precisión.

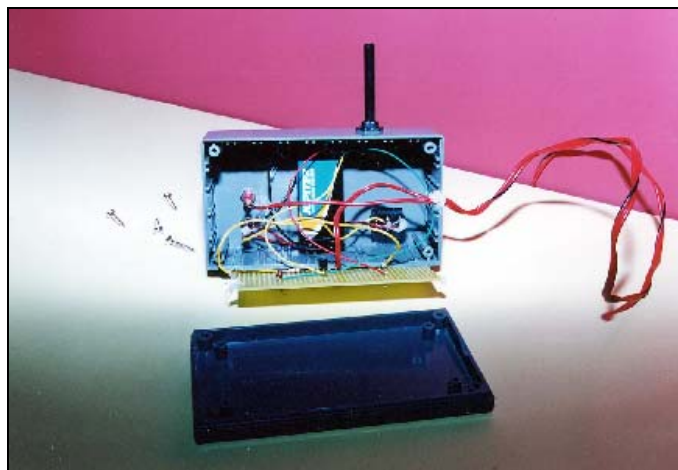


FOTO 6 , Detalle del interior del mando del MeCO

UTILIZACIÓN DEL MeCO

Usar el MeCO es muy sencillo. Consiste en apuntar al cielo, mirar a través de él y ajustar con el mando el brillo que nosotros observamos del cielo con el que hay en mitad de nuestra imagen correspondiente al LED. Es importante ensayar un tiempo hasta que nos acostumbremos a su manejo antes de utilizarlo para hacer medidas. En mi caso particular la precisión que he observado es, para medidas menores a 30 microamperios un error de ± 1 microamperio (es la precisión del multímetro) y para medidas de entre 30 microamperios y 60 microamperios el error se duplica. Este estudio es muy singular hacia mi persona, por lo que será conveniente en el futuro poder asegurar los datos de precisión con varias personas y un rango más amplio de medidas.

Es **importante** tener en cuenta que si un fuente de luz (farola,...) enfoca directamente sobre el frontal del MeCO la medida será errónea. Esto se puede observar en la facultad fácilmente observando las farolas de Telecomunicaciones. Es curioso porque la medida que obtenemos es menor que la que deberíamos medir. También sería positivo que el que vaya a utilizar el MeCO experimente esta situación para no caer en ella durante las observaciones.

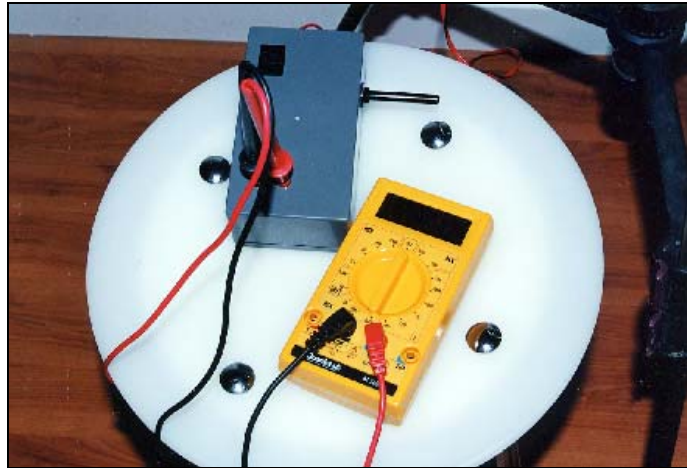
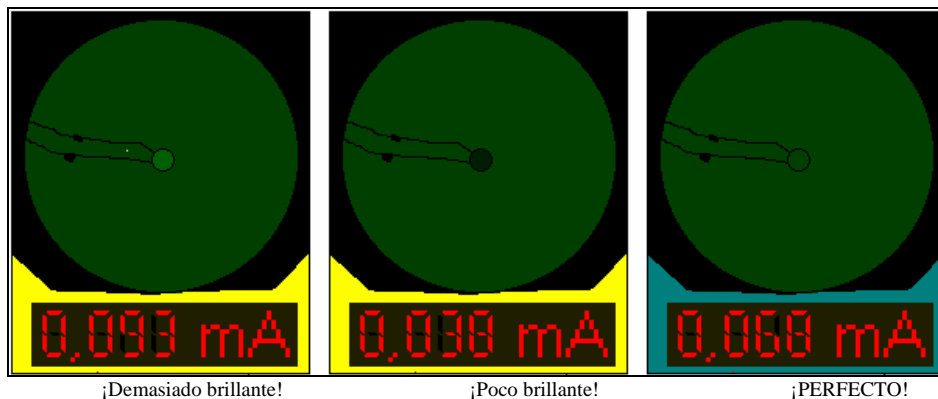


FOTO 7, Detalle del mando y el polímetro

Si puede ser, es importante estar en un lugar cómodo porque si uno está sólo el tener el mando y el polímetro a la vez puede convertirse en los más difícil de su manejo, y lo que más experiencia requiera.

A continuación se muestra de manera esquemática lo que un observador ve cuando realiza un medida:



Cuando creemos que el brillo del LED es igual a del cielo, miramos el polímetro y tomamos el dato de intensidad junto a de la altura y azimut que nos da el trípode.

4.0 TRANSFORMAR INTENSIDAD EN MAGNITUDES.

Para determinar la magnitud de fondo de cielo con el MeCO seguimos el procedimiento típico de la fotometría absoluta. Para ello debemos saber varias cosas:

- La constante instrumental: $C_\lambda = 8,266 \pm 0,012$
- La constante de extinción: $K_\lambda = 0,22 \pm 0,03$
- $\Delta m = 9,08 \text{ mag.}$

Las dos primeras constantes son proporcionadas por el trabajo de Francisco Javier Sánchez, sobre las constantes fotométricas del observatorio de la UCM.

El tercer dato es proporcionado por la proyección del diafragma de fotómetro, y se calcula:

$$P = \frac{206265''}{11 \cdot 25,4 \cdot 10} = \frac{206265''}{2794''} = 73,82'' / \text{mm}$$

$$\text{Área} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 4280('')^2$$

$$\Delta m = -2,5 \cdot \log\left(\frac{1}{4280}\right) = 9,08 \text{ mag}$$

Por último, la relación entre la magnitud de fondo de cielo y la intensidad:

$$m = (\Delta m + C_\lambda) - K_\lambda \sec(z) - 2,5 \cdot \log(F(c/s))$$

El siguiente paso es encontrar la relación entre el flujo en cuentas por segundo con la intensidad medida por el MeCO.

4.1 TRANSFORMACIÓN DE INTENSIDAD EN FLUJO (c/s).

Esta sea quizá la parte más importante y delicada del trabajo. El problema reside en que la intensidad que atraviesa el LED, la medida que nosotros obtenemos, hay que relacionarla con magnitudes por segundo de arco, que es como se expresa normalmente la oscuridad del cielo. Para conseguirlo se necesita un experimento que relacione la intensidad que pasa por el diodo y la luminosidad que desprende.

A priori nos podemos imaginar que la relación entre intensidad y luminosidad debe ser cuadrática, ya que la luminosidad es proporcional a la potencia de la fuente.

$$P = R \cdot I^2$$

Los dos experimentos con el mismo fin los llamaremos:

- 1) Relación I/L, con el banco óptico.
- 2) Relación I/L, montaje en paralelo.

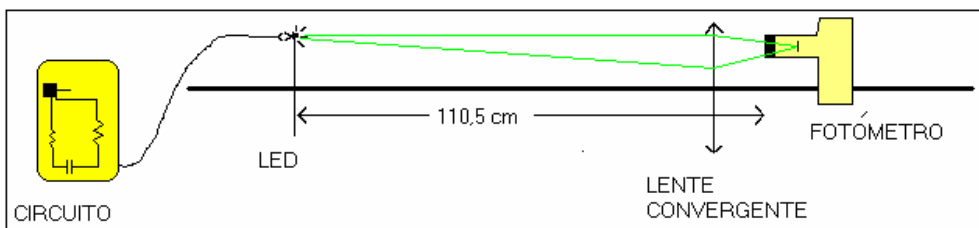
Los dos deberían habernos dados unos resultados iguales en la relación I/L, pero aquí es donde nos encontramos con el problema más serio de todo el trabajo, la relación es significativamente diferente. Para entender donde puede radicar la

diferencia vamos a ver con todo detalle lo resultados de ambas experiencias así como su montaje y desarrollo.

4.1.1. RELACIÓN I/L, CON EL BANCO ÓPTICO.

FICHA EXPERIENCIA	
Fecha	18-Junio-2001
Lugar	Lab. Astrofísica
Material	1) Banco óptico 2) Lente convergente 3) Fotómetro (OPTEC SSP-3) 4) LED verde 5) Circuito clónico al del MeCO

El objetivo es hacer medidas variando la intensidad del LED y midiendo las cuentas por segundo que registra el fotómetro. La lente convergente ($\phi=40$ mm, $f'=150$ mm) colima la luz en el centro del fotómetro. La habitación se mantuvo prácticamente a oscuras para que el fotómetro sólo midiese la luminosidad del LED.



Esquema del experimento.



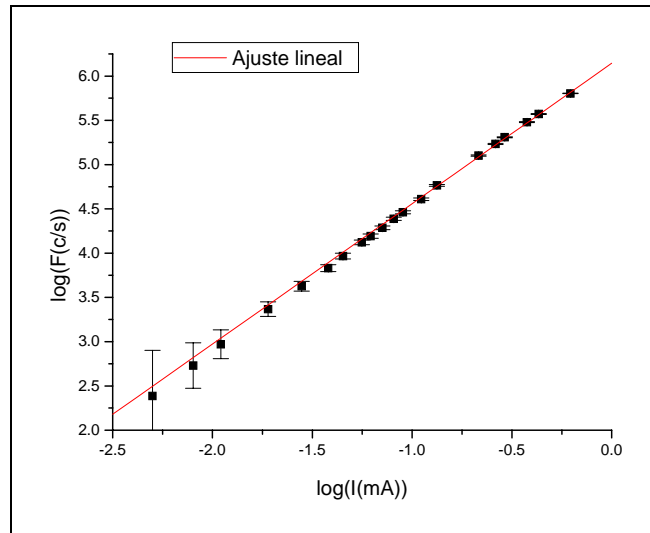
FOTO 8, Vista global del montaje en el banco óptico.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

I (A)	Medida 1	Escala	Medida 2	F(c/s)
0,621 ± 0,001	6367	1	6368	636700 ± 100
0,431 ± 0,001	3733	1	3732	373300 ± 100
0,376 ± 0,001	3018	1	3019	301800 ± 100
0,291 ± 0,001	2038	1	2040	203900 ± 100
0,262 ± 0,001	1718	1	1720	171900 ± 100
0,215 ± 0,001	1268	1	1269	126900 ± 100
0,133 ± 0,001	587	1	588	58700 ± 100
0,111 ± 0,001	4115	10	4119	41170 ± 10
0,090 ± 0,001	2948	10	2950	29490 ± 10
0,081 ± 0,001	2502	10	2495	24990 ± 10
0,071 ± 0,001	1985	10	1984	19840 ± 10
0,062 ± 0,001	1608	10	1607	16080 ± 10
0,056 ± 0,001	1373	10	1373	13730 ± 10
0,045 ± 0,001	977	10	978	9770 ± 10
0,038 ± 0,001	728	10	727	7280 ± 10
0,028 ± 0,001	474	10	474	4740 ± 10
0,019 ± 0,001	2844	100	2848	2844 ± 1
0,011 ± 0,001	1053	100	1056	1055 ± 1
0,008 ± 0,001	1450	100	1451	1450 ± 1
0,005 ± 0,001	760	100	760	760 ± 1
0,00 0	514	100	518	516 ± 1

La última medida tiene mucha importancia porque es el error en cero de la experiencia. Seguramente gran parte de este valor es debido a que la habitación no estaba completamente oscura y también tendrá una parte más pequeña debido al fotómetro (error en cero del fotómetro de la facultad).

Si restamos ese valor (516 ± 1 c/s) a todos los demás podemos representar una gráfica con la intensidad del LED frente a su luminosidad. Además vamos a representar la gráfica en la escala logarítmica.



```
Linear Regression for banco_óptico:
Y = A + B * X
```

Parameter	Value	Error
A	6.14415	0.00658
B	1.58517	0.01308

R	SD	N	P
0.99939	1.74933	20	<0.0001

Podemos observar como los datos se ajustan perfectamente a una recta con una excelente R. La pendiente no vale 2 como cabría esperar porque parte de la intensidad no invierte en la luminosidad (efecto Joule ...).

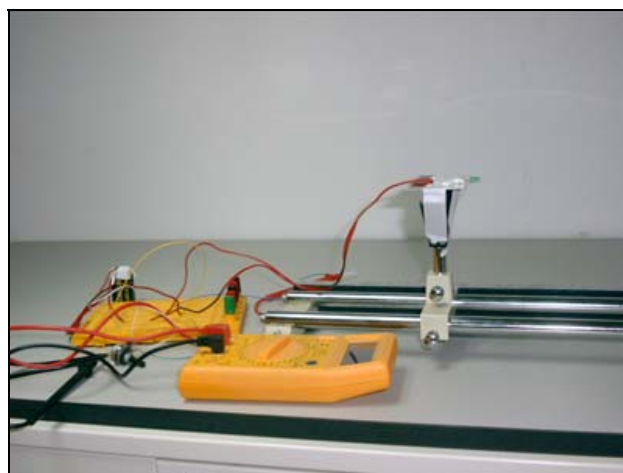
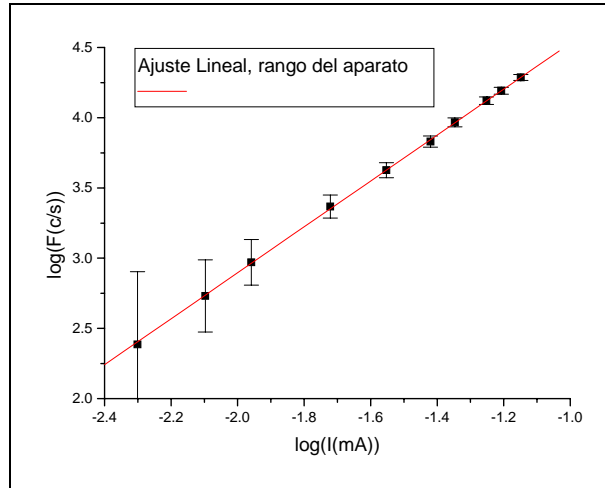


FOTO 9, Detalle del circuito que simula al MeCO.

Para ser más precisos, vamos a estudiar en concreto los valores de intensidad en los que se va a utilizar el MeCO. A continuación se muestra el gráfico con su ajuste lineal para los datos de intensidad menores o iguales a 81 μA .



```

Linear Regression for banco_óptico:
Y = A + B * X

```

Parameter	Value	Error
A	6.16418	0.0155
B	1.63408	0.01217

R	SD	N	P
0.99978	0.14882	10	<0.0001

Como vemos los valores son muy similares, y el ajuste también es excelente. A partir de ahora utilizaremos estos últimos resultado porque son más representativos en nuestro aparato.

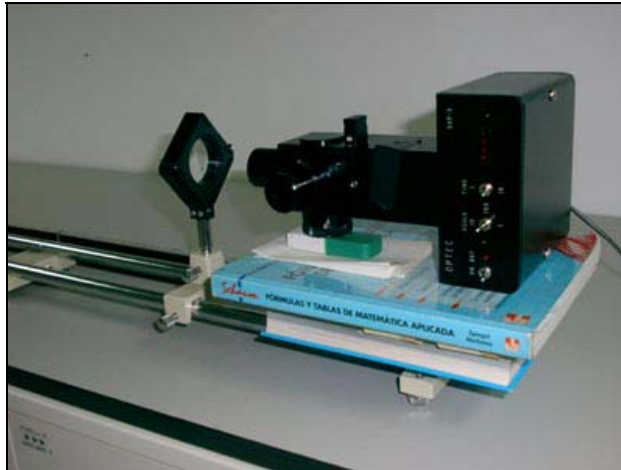


FOTO 10, Aunque rústico, el soporte del fotómetro fue muy efectivo.

4.1.2. RELACIÓN I/L. MONTAJE PARALELO.

FICHA EXPERIENCIA	
Fecha	7-Junio_2001 10-Julio-2001
Lugar	Cúpula Oeste
Material	1) Celestron 11' 2) MeCO 3) Fotómetro (OPTEC SSP-3)

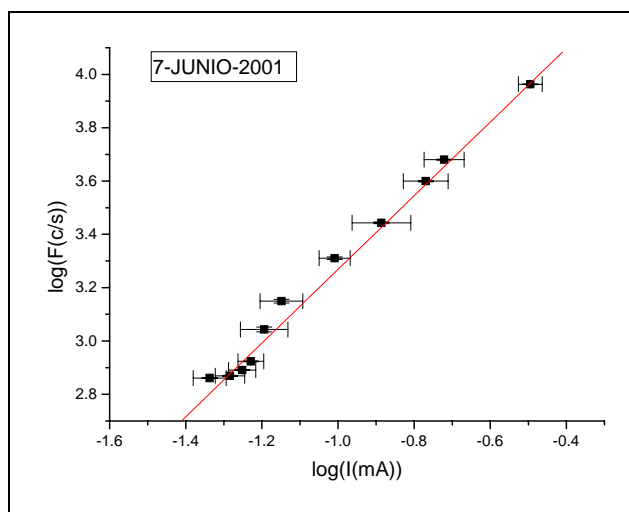
Al igual que en el anterior montaje el objetivo en este es encontrar una relación entre la intensidad de nuestro LED y la luminosidad del cielo que representa. Para ello montamos el MeCO paralelo al telescopio Celestron 11' de la cúpula oeste del observatorio de la facultad. Al telescopio le montamos el fotómetro del departamento. El fotómetro se sitúa con el filtro V y con un tiempo de exposición de 1 segundo. Después situamos todo el montaje apuntando hacia el oeste a 30° de altura en el momento de la puesta del Sol. Gracias a la puesta de Sol tenemos sin mover el telescopio una situación de variabilidad de la luminosidad del cielo. Posteriormente y con la ayuda de otro compañero se toman medidas simultáneas con el MeCO y el fotómetro. Con esto tenemos una relación I/L(c/s).



FOTO 11 , El montaje paralelo al Celestrón 11''

El día 7 Junio del 2001 se tomaron las siguientes medidas:

7 JUNIO DEL 2001			
Fotómetro (c/s)	E	T	MeCO (mA)
918 ± 1	10	1	0,32 ± 0,01
4787	10	10	0,18 ± 0,01
3977	10	10	0,17 ± 0,01
2776	10	10	0,132 ± 0,004
2044	10	10	0,098 ± 0,004
1411	10	10	0,071 ± 0,004
1104	10	10	0,064 ± 0,002
8387	100	10	0,059 ± 0,002
7787	100	10	0,056 ± 0,002
7402	100	10	0,052 ± 0,002
7260	100	10	0,046 ± 0,002
6700	100	10	0,036 ± 0,002



Linear Regression for MontajeParalelo_(7-JUNIO-2001):
 $Y = A + B * X$
 Weight given by Datal_Elogcs error bars.

Parameter	Value	Error
A	4.65048	0.03262
B	1.38189	0.0301

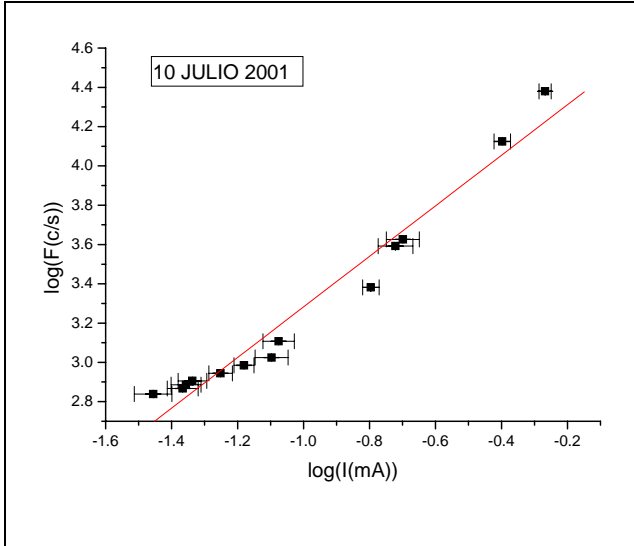
R	SD	N	P
0.99787	19.48093	11	<0.0001

Dado que en esta experiencia vamos a estar sujetos a más errores que en la del banco óptico se decidió hacer varias de este modelo, por eso el día 10 de Julio se volvió a montar el MeCO sobre el Celestrón 11'. Esta vez los resultados fueron los siguientes:

10 JULIO DEL 2001			
Fotómetro (c/s)	E	T	MeCO (mA)
3743 ± 1	10	1	0,76 ± 0,01
2400	10	1	0,54 ± 0,01
1333	10	1	0,4 ± 0,01
4230	100	1	0,2 ± 0,01
3905	100	1	0,19 ± 0,01
2408	100	1	0,16 ± 0,004
1280	100	1	0,084 ± 0,004
1057	100	1	0,08 ± 0,004
966	100	1	0,066 ± 0,002
880	100	1	0,056 ± 0,002
804	100	1	0,046 ± 0,002
769	100	1	0,044 ± 0,002
736	100	1	0,043 ± 0,002

690	100	1	0,035 ± 0,002
-----	-----	---	---------------

Representamos ahora estos datos en escala logarítmica:



```

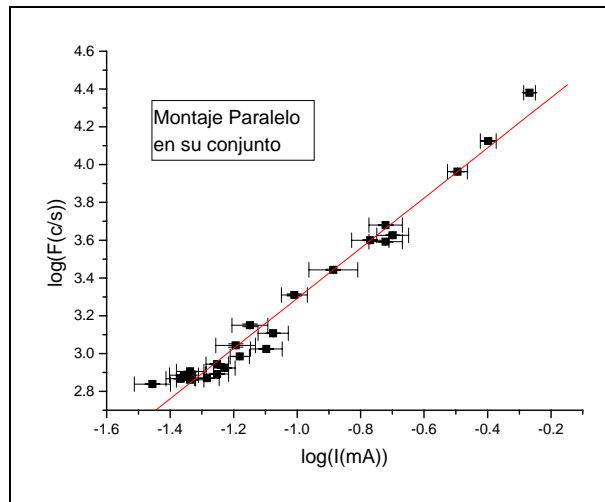
Linear Regression for MontajeParalelo_10-JULIO-2001:
Y = A + B * X

```

Parameter	Value	Error
A	4.56964	0.08267
B	1.28761	0.07746

R	SD	N	P
0.98067	0.104	13	<0.0001

Si unimos todos los datos en una sola regresión lineal nos saldrá un valor más global de la regresión lineal:



Linear Regression for conjunto_montajeparalelo_(7-JUNIO_y_10-JULIO_del_2001)
 $Y = A + B * X$

Parameter	Value	Error
A	4.61956	0.04803
B	1.32732	0.04466

R	SD	N	P
0.98832	0.07087	24	<0.0001

Cogemos estos datos como los definitivos para seguir trabajando

4.2 CONCLUSIÓN DEL CALIBRADO.

Como podemos observar la diferencia entre los dos valores en los dos métodos es muy significativa, cuando teóricamente era de esperar que la pendiente fuese igual y sólo variase la ordenada en el origen. Esta diferencia constituye el problema más grande y menos explicado del trabajo. Después de repasar varias veces la realización de las experiencias sólo me queda una teoría válida. Teoría que no he podido confirmar por la falta de tiempo, pero que podrá ser como ya explicaré más adelante un posible trabajo futuro para realizar sobre el MeCO. Mi teoría es muy sencilla, si las pendientes son diferentes significa que la relación entre luminosidad e intensidad eléctrica es diferente en los dos LED, por lo tanto los dos LED son distintos. Pese a mis esfuerzos en no equivocarme, ahora no puedo asegurar al cien por cien que el LED que yo aparte en Marzo fuese igual al del MeCO y a la vista de los resultados es una posible causa de este desajuste.

Nuestra intención era utilizar el montaje paralelo para determinar la ordenada en el origen, para luego llevar ese valor con la pendiente de gran precisión que nos daba el montaje en el banco óptico. Como las pendientes no son iguales no podemos seguir esa línea, por lo que buscamos otra solución.

La solución más lógica en este caso es utilizar únicamente los datos de la experiencia del montaje paralelo, dado que es la que utiliza al MeCO, y desechar los datos del banco óptico. Por lo tanto los valores de pendiente y ordenada en el origen que relacionan el $\log(I(\text{mA}))$ medidos por el MeCO y $\log(F(\text{c/s}))$ medidos por el fotómetro son:

$$\text{PENDIENTE} = 1,33 \pm 0,04 \text{ [c/(mA s)]}$$

$$\text{O-O} = 4,62 \pm 0,05 \text{ [c/s]}$$

Por lo tanto la ecuación en su forma numérica para pasar de mA a magnitudes de fondo de cielo queda como sigue:

$$m = (17,35 \pm 0,02) - (0,22 \pm 0,03) * \sec(z) 2,5 * [(1,33 \pm 0,04) \log(I) + (4,62 \pm 0,05)]$$

5.0 MEDICIONES DEL MeCO.

Con el MeCO hemos realizado una serie de medidas en las que se destacan los mapeados del cielo en Madrid, Guadalajara y Yebes (Guadalajara). También se incluye un atardecer con su variación lumínica con respecto al tiempo y mediciones a las Torres KIO y Picaso en Madrid. Observaremos así el poder del MeCO, su poder de resolución y su utilidad. También destaparemos sus limitaciones y taras, con el objetivo de hacernos una idea clara de que podemos conseguir con este aparato.

5.1 MAPEADO DE LOS CIELOS.

El lugar principal donde se debía desarrollar el trabajo dirigido en el cielo de la facultad de Físicas de la UCM, cielo que está altamente contaminado por la contaminación lumínica. Ciertamente este trabajo de una manera o de otra intenta destapar el hecho de que Madrid tiene un cielo pésimo, para ello se me ocurrió que la mejor manera para demostrar este hecho es comparando el cielo con el de otros lugares. Dado mi situación personal, decidí elegir una ciudad pequeña, como Guadalajara y un sitio Yebes(Guadalajara) que posee un observatorio astronómico profesional, que goza de un buen cielo nocturno, pero en el que se ve claramente como la agresión de brutal de Madrid afecta no sólo a su ciudad si no a un radio de varias decenas de kilómetros a su alrededor.

En todos los casos las medidas de intensidad registradas por el MeCO son pasadas a magnitudes por segundo de arco al cuadrado con la fórmula final resuelta en el anterior punto del trabajo sobre el calibrado de nuestro medidor.

La representación se ha realizado con un pequeño programa bajo el soporte de MatLab 5.1 que podemos encontrar en los apéndices del final del trabajo y en el disco que acompaña al mismo. En él se representa el cielo en coordenadas cartesianas con la altura en el eje y, y el azimut en el eje x. Los datos han sido recogido en todas las ocasiones de la misma manera: a altura 10° cada 30° de azimut, a altura 30° cada 45° de azimut, a altura 60° cada 90° de azimut, y una medida del cenit. Después el programa crea un malla cuadrada de ancho 1° e interpola (linealmente) todos los valores de las intensidades. Después a cada punto le aplica la fórmula que relaciona las magnitudes con la intensidad (calibrado), y se representa con una superficie en tres dimensiones. Por último se mira desde arriba la superficie y obtenemos la representación. Tengo que reconocer que el método es un poco “rústico” pero sus resultados son, a mi parecer, buenos. Después de exponer todos los mapas con sus datos, representaremos todos en su conjunto con una sola escalad de colores y podremos comparar los cielos de los tres lugares estudiados.

NOTA: El azimut es medido desde el Sur en dirección S-W-N-E.

MAPAS DE MADRID

Nos situamos en la azotea oeste de la facultad de CC. Físicas de la UCM. A simple vista en una noche cualquiera podemos observar a ojo descubierto como dependiendo en la dirección y altura que mires el cielo posee un brillo u otro. El cielo de Madrid no sólo destaca por su gran luminosidad sino que además tiene grandes diferencias entre un dirección y otro del cielo. A priori si miramos en la dirección donde no hay ciudad, noroeste, el cielo debería ser más oscuro, mientras que la zona de Moncloa y la que da hacia las torres KIO y la Picaso deberían ser más luminosas.

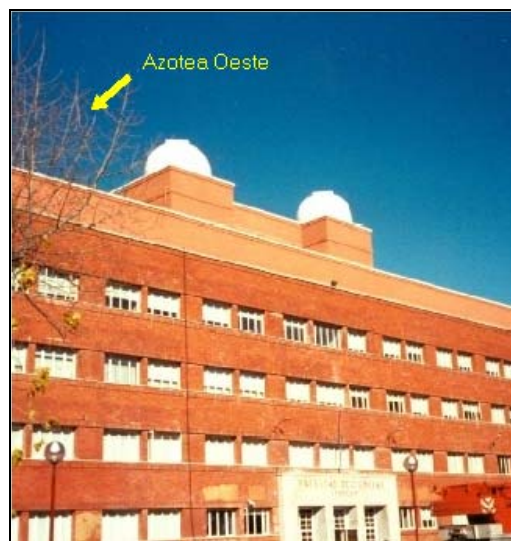


FOTO 12, vista de la facultad CC. Física de la UCM.

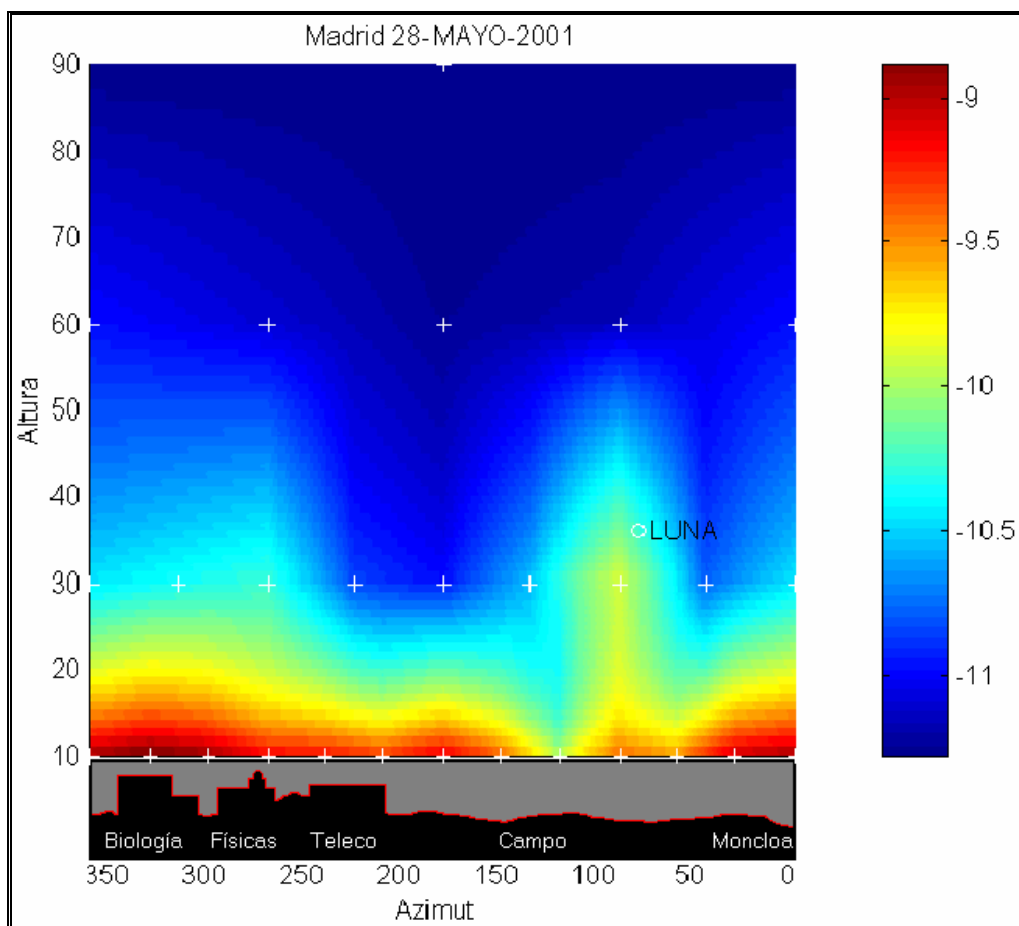
MADRID 28-MAYO-2001.

Las mediciones de este día desprendieron los siguiente resultados:

28-MAYO-2001			
altura	Azimut	I(mA)	Comentarios
10	0	0,046	Moncloa
10	30	0,043	Parque de Atracciones
10	60	0,031	Campo
10	90	0,034	Campo
10	120	0,023	Campo
10	150	0,034	Campo
10	180	0,041	Escuela de Telecomunicaciones. Muchas farolas
10	210	0,036	Entre Teleco INM
10	240	0,039	INM
10	270	0,040	Sobre las cúpulas
10	300	0,047	Edificios

10	330	0,050	Esquina derecha de Biología
30	0	0,030	
30	45	0,024	
30	90	0,044	Luna al lado ($\sim 6^\circ$), fase = 38,3%
30	135	0,028	
30	180	0,021	
30	225	0,023	
30	270	0,034	
30	315	0,032	
60	0	0,024	
60	90	0,021	
60	180	0,020	
60	270	0,024	
90	-	0,021	

El mapa resultante es el siguiente:



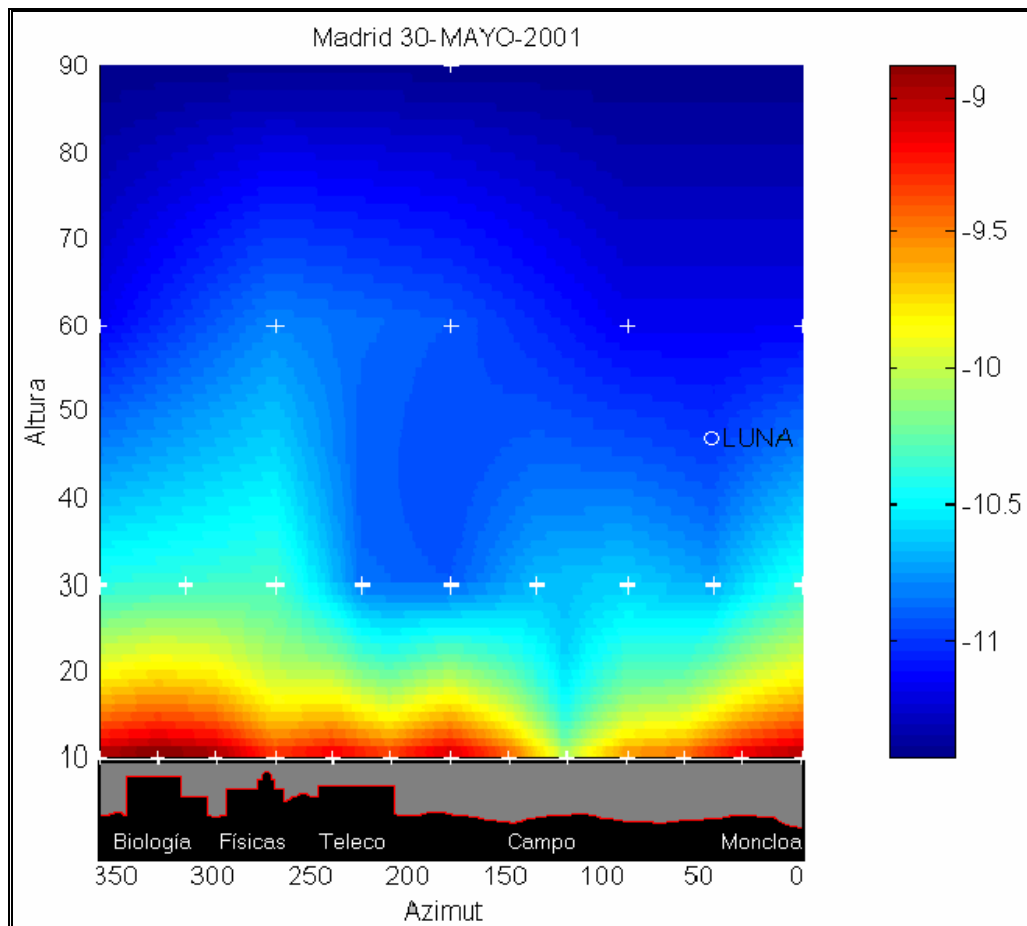
La columna de la derecha representa la magnitudes por segundo de arco. Las cruces blancas son las posiciones de los datos tomados con el MeCO. Este mapa se ve distorsionado claramente por la posición de la Luna cerca de una de estas cruces. La realidad no es así, y quizá lo bueno hubiese sido tomar un dato en el mismo azimut pero con diferente altura (por ejemplo 20°).

MADRID 30-MAYO-2001

Dos días después de la primera medida se repitió el mapeado con los siguientes resultados:

30-MAYO-2001			
altura	Azimut	I(mA)	Comentarios
10	0	0,046	Moncloa
10	30	0,041	Parque de Atracciones
10	60	0,033	Campo
10	90	0,031	Campo
10	120	0,022	Campo
10	150	0,034	Campo
10	180	0,043	Escuela de Telecomunicaciones.Muchas farolas
10	210	0,036	Entre Teleco INM
10	240	0,041	INM
10	270	0,037	Sobre las cúpulas
10	300	0,047	Edificios
10	330	0,050	Esquina derecha de Biología
30	0	0,031	
30	45	0,025	
30	90	0,027	
30	135	0,026	
30	180	0,022	
30	225	0,023	
30	270	0,033	
30	315	0,032	
60	0	0,021	
60	90	0,021	
60	180	0,025	
60	270	0,027	
90	-	0,018	

Esta vez no tenemos a la Luna (Az=46° a=47°, fase=61,6%) significativamente cerca de una de nuestras medidas. El mapa es el siguiente:



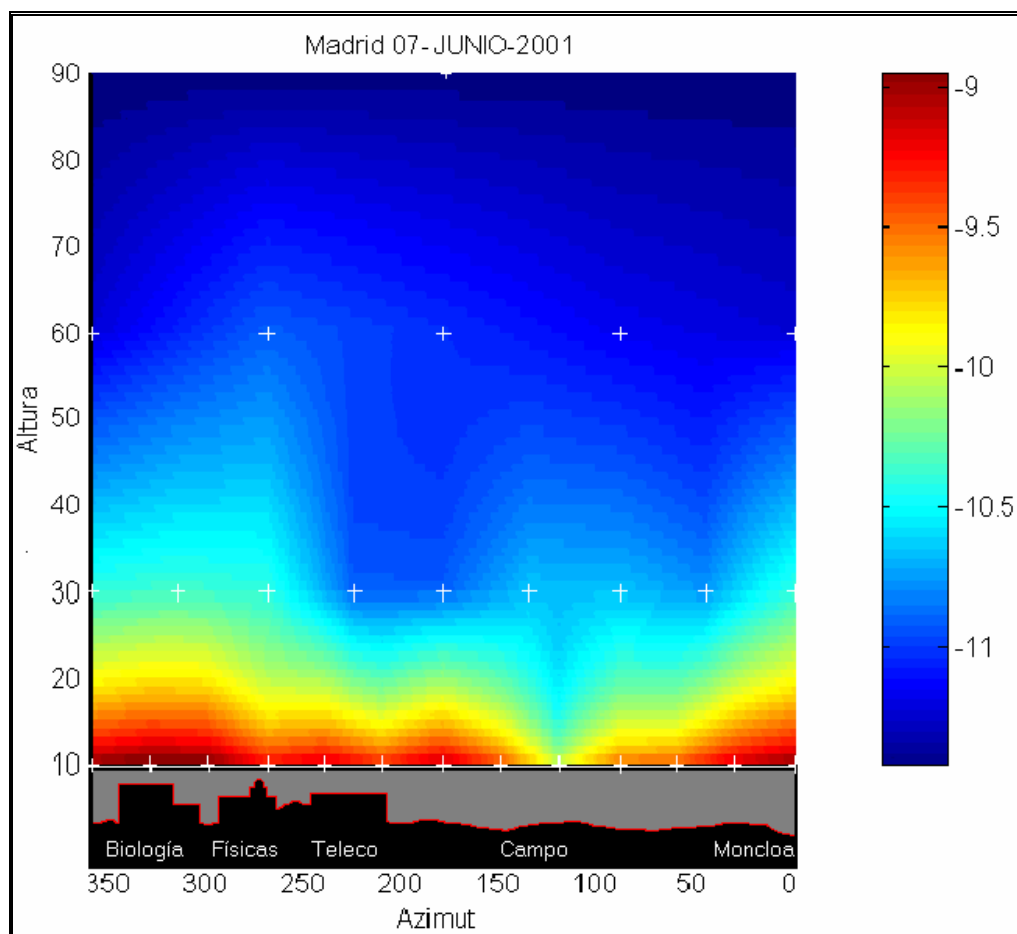
Este mapa aunque no recoge la distorsión de la Luna, es más real y nos da una mejor de visión del cielo de Madrid.

MADRID 7-JUNIO-2001

Este día es un día con la Luna llena pero que no se encuentra en el cielo en los momentos de las observaciones.

06-JUNIO-2001			
altura	Azimut	I(mA)	Comentarios
10	0	0,045	Moncloa
10	30	0,040	Parque de Atracciones
10	60	0,032	Campo
10	90	0,031	Campo
10	120	0,022	Campo
10	150	0,033	Campo
10	180	0,041	Escuela de Telecomunicaciones.Muchas farolas

10	210	0,035	Entre Teleco INM
10	240	0,040	INM
10	270	0,037	Sobre las cúpulas
10	300	0,047	Edificios
10	330	0,048	Esquina derecha de Biología
30	0	0,031	
30	45	0,024	
30	90	0,026	
30	135	0,026	
30	180	0,022	
30	225	0,031	
30	270	0,032	
30	315	0,031	
60	0	0,020	
60	90	0,021	
60	180	0,023	
60	270	0,025	
90	-	0,018	



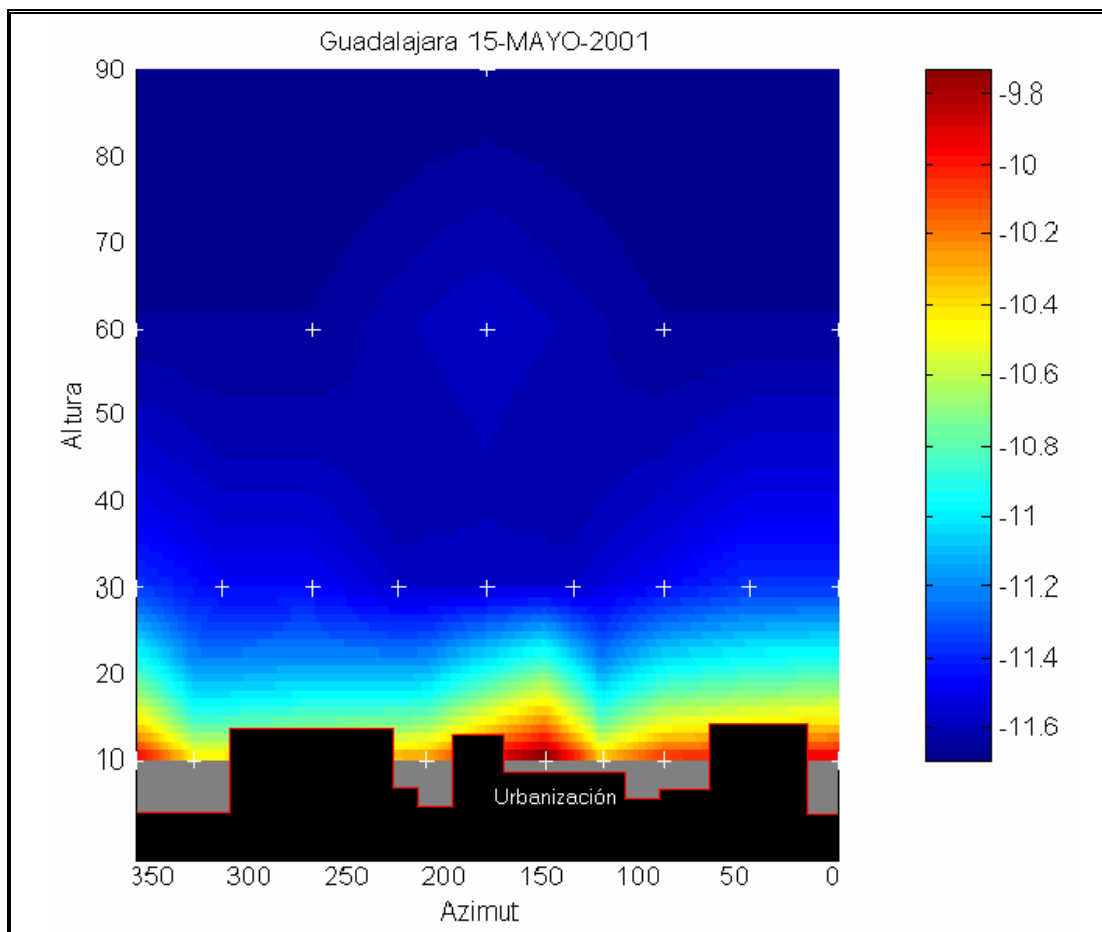
MAPA DE GUADALAJARA

El mapa del cielo de la ciudad de Guadalajara se hizo el día 15 de Mayo del 2001, desde la azotea de un edificio de cuatro plantas aunque con gran visibilidad en todas las direcciones. El edificio está situado en el centro de la ciudad.

Los datos tomados ese día son los siguientes :

15-MAYO-2001			
altura	Azimut	I(mA)	Comentarios
10	0	0,024	
10	30	-	Edificio vecino
10	60	-	Edificio vecino
10	90	0,022	
10	120	0,018	
10	150	0,028	Urbanizaciones de Cabanillas.
10	180	-	Edificio vecino
10	210	0,019	
10	240	-	Edificio propio
10	270	-	Edificio propio
10	300	-	Edificio propio
10	330	0,017	
30	0	0,016	
30	45	0,016	
30	90	0,015	
30	135	0,014	
30	180	0,014	
30	225	0,014	
30	270	0,015	
30	315	0,015	
60	0	0,015	
60	90	0,015	
60	180	0,016	
60	270	0,015	
90	-	0,015	

Lo que más llama la atención es la poca variabilidad de la luminosidad en las distintas direcciones del cielo. Eso es debido a que la situación de la experiencia está en el centro de la ciudad y que Guadalajara no posee tantos focos luminosos locales como Madrid para hacer del cielo significativamente diferente según la dirección en la que se observe.

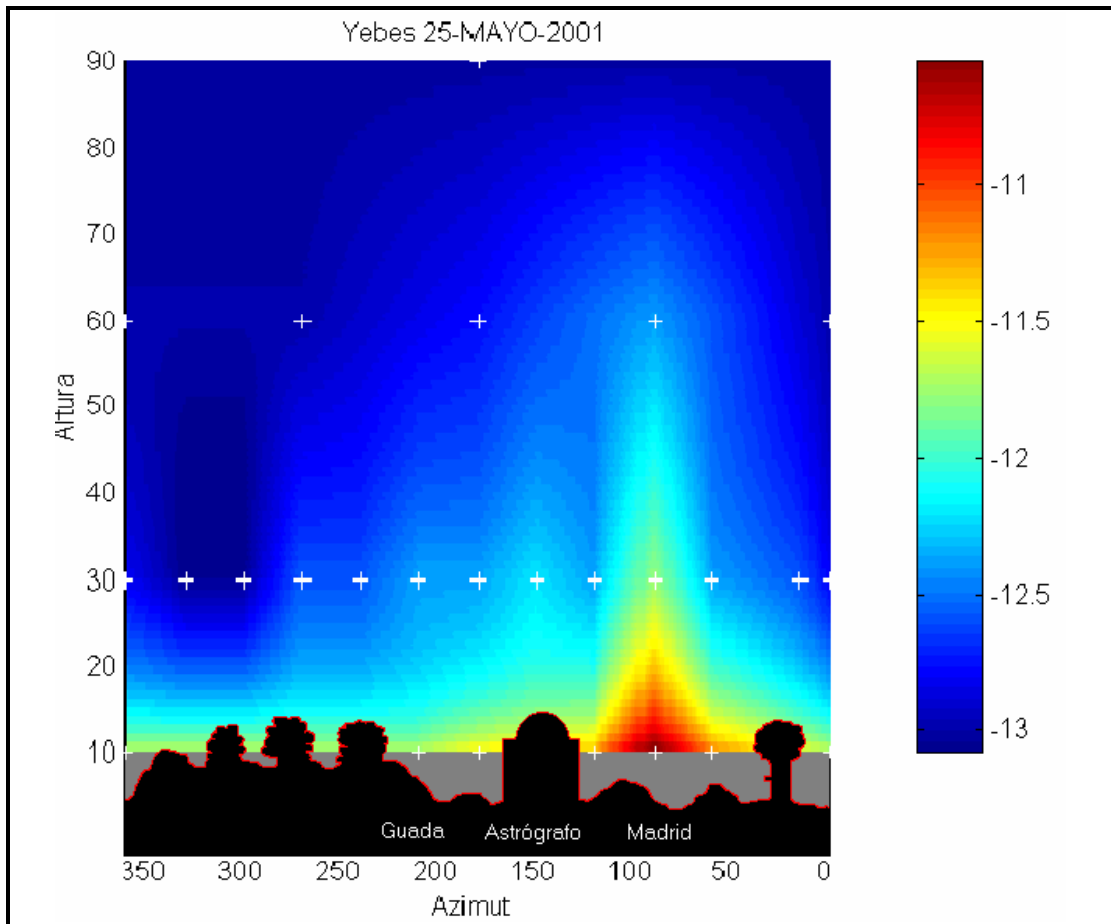


MAPA DE YEBES (GUADALAJARA)

Yebes es un pueblo situado en un alto a 20 Km de Guadalajara y 55 Km de Madrid. Tiene muy pocos habitantes y la zona es bastante despoblada, por lo que hace unos años era un lugar idóneo para colocar un observatorio. Allí se encuentra un observatorio profesional, que aunque tiene ciertos años va a ser relanzado en breve con la construcción de un gran radiotelescopio de última generación. Hoy día su cielo, aunque bueno, ha perdido mucha calidad debido al crecimiento de Madrid, Guadalajara y una urbanización que se está construyendo a muy pocos kilómetros.

El día 25 de Mayo del 2001 me uní al grupo de 5º de la facultad que iba a hacer una excursión al observatorio. Dentro de las instalaciones del observatorio tome las siguiente medidas:

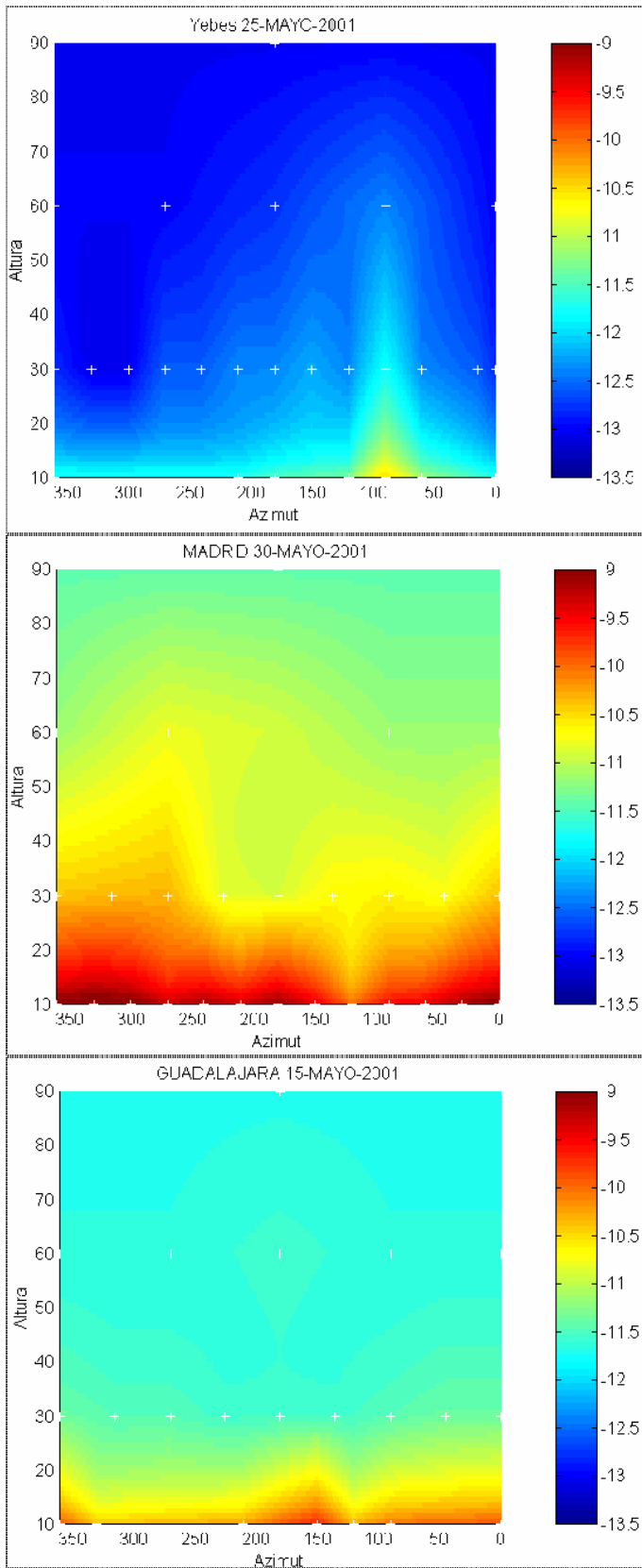
25-MAYO-2001			
altura	Azimut	I(mA)	Comentarios
10	0	0,007	
10	30	-	
10	60	0,010	
10	90	0,016	Dirección Madrid
10	120	0,009	
10	150	-	
10	180	0,008	
10	210	0,007	
10	240	-	
10	270	-	
10	300	-	
10	330	-	
30	0	0,006	
30	15	0,007	
30	60	0,008	
30	90	0,0012	Madrid
30	120	0,008	
30	150	0,009	
30	180	0,008	
30	210	0,008	
30	240	0,007	
30	270	0,007	
30	300	0,005	
30	330	0,005	
60	0	0,006	
60	90	0,009	Madrid
60	180	0,007	
60	270	0,006	
90	-	0,006	



El ejemplo de Yebes es un caso claro de cómo una gran ciudad afecta a la luminosidad no sólo de su cielo sino que la intrusión lumínica llega a poblaciones muy lejanas. Yebes está a 55 Km pero el efecto luminoso de Madrid puede afectar incluso a 200 Km de la capital.

COMPARACIÓN DE LAS TRES POBLACIONES

Para poder comparar visualmente las tres poblaciones tenemos que mostrar todos los mapas juntos y lo que es más importante una escala absoluta de colores.



Conclusión:

No es fácil dar un valor de la magnitud de fondo de cielo para cada lugar porque como podemos ver en los mapas según la dirección está varía. Por ejemplo, en Yebe predomina la magnitud 13-13,5 en su cielo pero si observamos hacia el oeste, que es la dirección de Madrid, este valor se estropea llegando a ser de dos magnitudes menos. En el caso de Guadalajara es más sencillo porque excepto a alturas muy bajas posee un cielo muy uniforme de magnitud 11,5. Curiosamente este valor es el que tiene Yebe en sus peores direcciones. Por último llega Madrid, que tiene una dependencia en la dirección muy fuerte y sobre todo en la altura. A media altura domina la magnitud 10, mientras que si miramos cerca del zenit esta es de 11,5, como el cielo de Guadalajara. Si atendemos a la dirección, la zona que va desde Moncloa hasta el INM pasando por Biología posee una intrusión lumínica más alta desde a superficie, que la zona que da al campo, en dirección noroeste.

Los datos del MeCO nos sirven para evidenciar la degradación de los cielos, de cómo una gran ciudad como Madrid pierde su oscuridad y de cómo afecta a poblaciones lejanas como Yebe. Vemos como Guadalajara, mucho más pequeña en población que Madrid, se encuentra a medio camino de las zonas rurales (Yebe) y la gran ciudad (Madrid). Dado que la población actual es cada vez más urbana, veremos como todos los mapas tenderán de una manera u otra a ser del tipo de Madrid. Guadalajara ya está en camino, Yebe por ahora se ve afectado por la luminosidad de los demás.

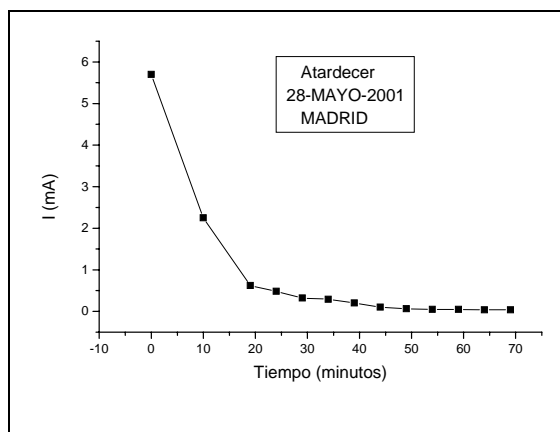
Estos datos por ahora tienen un gran valor cualitativo, debido al problema explicado en la parte del calibrado, debemos tener cuidado a la hora de leer los resultados obtenidos con el MeCO. En el futuro se tiene que hacer un calibrado más riguroso y con más tiempo, y realizado por diferentes personas. Y también hay que tener en cuenta que los datos obtenidos tienen dos constantes obtenidas en otro trabajo dirigido (C_λ y K_λ) con sus correspondientes errores, las cuales en el futuro también se tendrían que ir corroborando y haciendo un seguimiento cuidadoso. Lo que si podemos afirmar es que el MeCO se utiliza rápido es muy transportable y barato, cualidades que lo hacen especialmente interesante.

5.2 ATARDECER EN MADRID.

Un pequeño experimento que se puede hacer con el MeCO es medir la luminosidad del cielo hacia el oeste durante un atardecer. Esto es interesante porque así observamos como varía la luminosidad con respecto al tiempo, y en que momentos entran los diferentes crepúsculos.

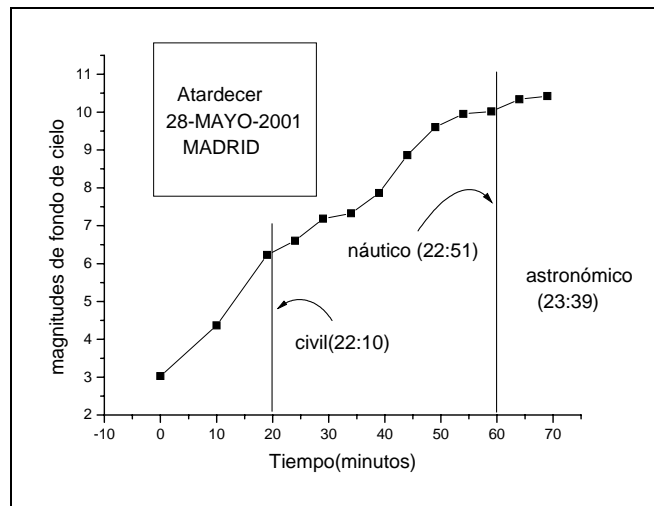
El 28 de Mayo del 2001 se tomaron los siguientes datos:

Tiempo Local	Intensidad (mA)
21:51	5,70
22:01	2,25
22:10	0,62
22:15	0,48
22:20	0,32
22:25	0,29
22:30	0,20
22:35	0,10
22:40	0,06
22:45	0,047
22:50	0,045
22:55	0,036
23:00	0,034



Este gráfico expresa la intensidad con el tiempo en minutos, como podemos observar los atardeceres se caracterizan por un descenso rápido de la luminosidad del cielo en los primeros minutos y una desaceleración en ese ritmo hasta el punto de acercarse de manera casi asintótica al valor de oscuridad del punto que estamos observando durante la noche.

Pero veamos ahora el mismo gráfico, pero con las intensidades medidas en magnitudes de fondo de cielo:

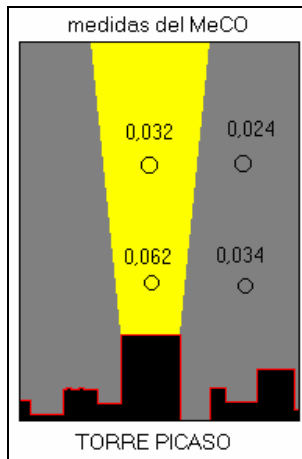


Aunque aquí aparecen simplemente unidos los puntos, estos se podrían ajustar a una recta de pendiente negativa. El estudio de los atardeceres también es una posible área de trabajo para el futuro.

5.3 TORRES KIO Y TORRE PICASO.

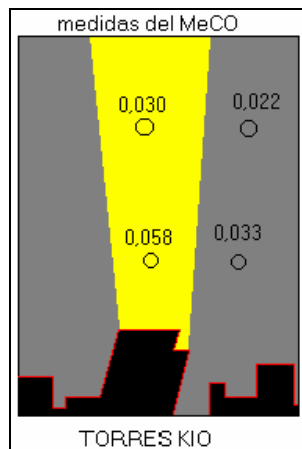
Este pequeño apartado es muy interesante ya que estos magestuosos edificios de Madrid son un ejemplo claro de cómo no hay que iluminar. Pensando en la estética a los arquitectos de estas torres se les ocurrió que enfocando al cielo con unos grandes focos sus edificios quedarían más impresionantes. Ese toque estético es la contaminación lumínica hecha con el único objetivo de ser contaminación lumínica. No tiene ninguna utilidad y cambia la belleza del cielo por un chorro de luz. Es un caso tan claro que los aficionados amateur madrileños de la astronomía lograron que Torre Picaso apagara “el foco” entorno a las 10 de la noche.

Sobre Torre Picaso tomé las siguientes medidas el día 28 de Mayo del 2001 a 30 y 60 grados de altura respectivamente. Tomé dos datos sobre el chorro de luz, y otro inmediatamente después fuera del chorro. Los números del gráfico son mA.



A 30° de altura el aumento de magnitudes de fondo de cielo es de casi una magnitud, mientras que a 60° de altura el aumento es de cerca de media magnitud. Además el haz de luz de Torre Picaso se difunde en la noche y no sólo afecta al chorro, sino que afecta a todo el cielo nocturno de Madrid, y en especial al que se encuentra en sus alrededores.

Sobre las torres KIO hice una experiencia similar con la que obtuve resultados similares:



El efecto que provocan estos edificios en el cielo es perfectamente medible por el MeCO y constituye un estudio futuro interesante para realizar con él.

6.0 TRABAJO PARA EL FUTURO.

No escondido que para mí sería una pena que MeCO se quedase sólo aquí. Todavía le quedan cosas por hacer y cosas por mejorar. Por eso creo que en el futuro este trabajo lo pueden continuar otras personas aportando ideas y perfecciones al medidor para hacer de él un aparato realmente útil. El mayor miedo e incertidumbre que tengo acerca del MeCO es que yo he sido el único constructor y utilitario, por eso los datos que yo expongo en este trabajo hay que leerlos con ese trasfondo. Otras personas tendrán que utilizarlo, realizar una calibración más fina de el mismo y como ya he dicho a lo largo del trabajo ver como afectan a las medidas que el observador sea uno u otro. Cuando estos parámetros se establezcan para otras personas y se compruebe la viabilidad total del medidor.

Me voy a permitir el lujo de proponer una serie de proyectos e ideas en las que el departamento podrá utilizar el MeCO

- Dada la facilidad de hacer mapas y de transportar el MeCO, unido a que los estudiantes de la especialidad son de muchos lugares diferentes de España se podría hacer un plan por el cual estos hiciesen en sus viajes una toma de datos de su localidad. Así de una manera sencilla podríamos tener registrados la magnitud de fondo del cielo de muchos lugares diferentes de la geografía española.
- La contaminación lumínica debe convertirse en un tema de vital importancia en las asignaturas del departamento. Dentro de la posición activa que debe tener este departamento ante este fenómeno, no es descabellado pensar en la inclusión del MeCO en las prácticas de alguna asignatura.
- Sería muy interesante tomar datos a lo largo de los próximos meses y años con el MeCO sobre el cielo de Madrid. Así podremos ver como evoluciona su luminosidad, si se ha estancado la emisión de luz o si mejora o empeora.

APENDICE A.

Programa de mapeado, para MATLAB 5.1.

```
function mapa(Az10,Az30,Az60,I10,I30,I60,Z,IZ); % las intensidades
las meto en microamperios.

Az=[0:360]; % Paso de la maya para el Azimut

I10=(1e-3)*I10; % Pasa la intensidad a miliamperios
I30=(1e-3)*I30;
I60=(1e-3)*I60;
IZ=(1e-3)*IZ;

I10f=interp1(Az10,I10,Az,'linear'); % Interpolación lineal para cada
altura.
I30f=interp1(Az30,I30,Az,'linear');
I60f=interp1(Az60,I60,Az,'linear');
IZf=interp1(Z,IZ,Az,'linear'); % introducir dos puntos iguales a
distinto Az para que funcione la interpolación.

a=[10 30 60 90];
[a,Az]=meshgrid(a,Az);
[altura,Azimut]=meshgrid(10:90,0:360);
final=interp2(a,Az,[I10f;I30f;I60f;IZf]',altura,Azimut);

Flog10=(1.34*log10(final)+4.64);
m=(9.08+8.27-(0.22./cos(90-altura))-2.5*Flog10);
% pendiente=1,34+-0,04
% OO= 4,62+-0,05
mesh(altura,Azimut,-((17.35)-((.22)*sec((pi/180)*(90-altura)))-
(2.5)*(1.34*log10(final)+4.62)));
surf(altura,Azimut,-((17.35)-((.22)*sec((pi/180)*(90-altura)))-
(2.5)*(1.34*log10(final)+4.62)));
shading flat;
% caxis([-13.5 -9]);
colormap('default');
brighten(0);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

hold on; % introduzco la posicion de los datos
a1=zeros(1,size(Az10)); % en el mapa.
a1(1,1:size(Az10))=10;
plot3(a1,Az10,20*ones(1,size(Az10)),'w+');

hold on;
a2=zeros(1,size(Az30));
a2(1,1:size(Az30))=30;
plot3(a2,Az30,20*ones(1,size(Az30)),'w+');

hold on;
a3=zeros(1,size(Az60));
a3(1,1:size(Az60))=60;
plot3(a3,Az60,20*ones(1,size(Az60)),'w+');

hold on;
plot3(90,180,15,'w+'); % hasta aqui.
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
axis([10 90 0 360 0 20]);
xlabel('Altura');
ylabel('Azimut');
zlabel('Magnitud');
title('GUADALAJARA 15-MAYO-2001');
colorbar('vert');

% Para introducir elementos en mitad del cielo.
% plot3(x,y,80,'wo'); el 80 es un valor elevado para que la
superficie no tape el dato
%
% text(x,y,80,'texto');

% la funcion 'rotate3d on' permite rotar el gráfico para verlo
% desde arriba y tener el mapa de color.

```