

Iluminación de piscinas mediante la tecnología de fibra óptica

ENRIC ROVIRA
I ELIAS
(Imes, S.A.)
RAUL ORIOL
ROMERO
(FELCA, S.A.)

1.- SISTEMAS DE ILUMINACIÓN DE PISCINAS

Actualmente, el sistema más utilizado para la iluminación interior de piscinas son los proyectores sumergibles que se sitúan debajo el nivel del agua, fijados en sus paredes.

Las medidas de seguridad que hace falta tomar a causa del peligro de electrocución limitan las posibilidades del sistema y obligan a trabajar con lámparas de incandescencia de altas potencias, bajo voltaje, poco rendimiento lumínico y vida media corta. Además, el coste de mantenimiento es elevado ya que los recambios de lámparas se tienen que realizar con frecuencia y la instalación de los proyectores subacuáticos es costosa.

Para conseguir el efecto decorativo deseado, objetivo principal de la iluminación de piscinas, se requiere una buena uniformidad en la distribución lumínica. En este aspecto, los sistemas actuales también presentan deficiencias ya que las características de los proyectores no permiten distribuir la luz de manera uniforme dentro de la piscina.

Una vez observadas las limitaciones del sistema actual, hemos querido investigar un sistema alternativo que pueda aportar soluciones nuevas, a través del cual, se incorpore una nueva tecnología en el terreno de la iluminación de piscinas: la fibra óptica.

2- OBJETIVOS

La fibra óptica tiene capacidad para transportar la luz. Basándose en esta prioridad, se ha diseñado un sistema de iluminación de piscinas que, situando las fuentes de luz alejadas del perímetro de la piscina, transportan la luz hacia el interior a través de haces de fibra óptica.

Mediante este sistema se incorpora un nuevo elemento en la iluminación, la fibra óptica, para que, a corto plazo, aporte soluciones innovadoras y se convierta en una alternativa sólida y competitiva ante los sistemas de iluminación actuales.

Por otro lado, se diseña un nuevo sistema que, teniendo en cuenta que es menos asequible por el hecho de ser una tecnología reciente, mejora las prestaciones en cuanto a la seguridad, la calidad en la distribución, el mantenimiento y el consumo.

La consecución del objetivo general comporta el paso por las siguientes fases:

- Desarrollar programas de simulación y cálculo de la eficacia de concentración de luz. Definir el concentrador.
- Construir un prototipo y determinar su comportamiento y prestaciones.
- Establecer criterios para la iluminación de piscinas y otros recintos acuáticos.
- Proponer un sistema de iluminación mediante la fibra óptica para una

- Diseño de las fuentes de luz para el sistema.

La novedad tecnológica de la aplicación ha requerido un trabajo importante de recopilación de información, ha obligado a desarrollar todo un estudio teórico ya construir ya realizar ensayos sobre un prototipo.

Para el desarrollo teórico, ha sido necesario un estudio de rendimiento de los diferentes sistemas de concentración de luz y de la elaboración de un software de simulación para el cálculo y diseño del aparato concentrador de luz.

La problemática que surge en el desarrollo teórico ha obligado a construir un prototipo ya realizar numerosos ensayos para comprobar y verificar el comportamiento del sistema. En función de los resultados obtenidos, se ha elaborado toda la propuesta del sistema de iluminación mediante fibra óptica.

La propuesta desarrollada se sitúa en la frontera de la rentabilidad económica respecto a los sistemas convencionales, pero, sin duda, aporta una serie de mejoras al servicio como son: la ausencia de electricidad dentro de la piscina, el menor consumo y mantenimiento, la flexibilidad de iluminación con proyectores orientables y la homogeneidad en la distribución lumínica.

En vista a un futuro próximo, el sistema tiene un gran potencial. Cuando se introduzcan mejoras tecnológicas en el rendimiento de las fibras ópticas, se obtendrá un producto muy competitivo y con mejores prestaciones que los sistemas convencionales. Además, pueden aparecer nuevas aplicaciones en las cuales aún no se ha aplicado la fibra óptica por motivos de rentabilidad económica. La empresa que decida desarrollar el producto tendrá una posición de privilegio respecto a sus competidores

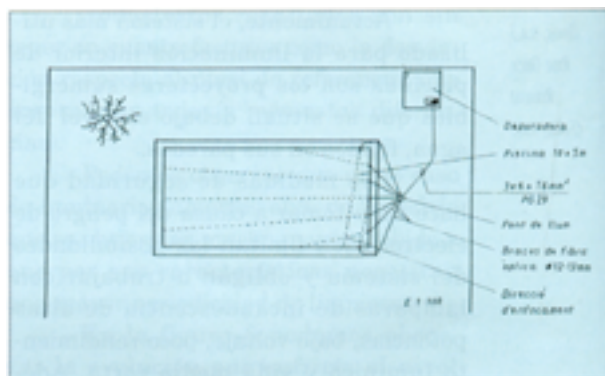
ya que tendrá la tecnología y estructura establecida para introducirse en otros mercados.

Todo el estudio general realizado se ha particularizado en una piscina concreta para poder realizar una comparación con los sistemas de iluminación actuales aplicados sobre el mismo recinto.

Para la elección del tipo de piscina se han seguido los criterios de buscar los modelos de piscina estándares más vendidos actualmente con geometrías simples y de dimensiones reducidas. Se ha escogido como modelo para el diseño del sistema de iluminación una piscina de las características siguientes:

- Forma: rectangular
- Dimensiones: 10 m. de longitud x 5 m. anchura x 1,5 m. profundidad mediana.

Figura 1.
MEM.F1
Esquema de la
piscina-modelo
iluminada con
fibra óptica



Para seguir las explicaciones del sistema de iluminación diseñado ver la figura MEM.F1, MEM.F2 y MEM.F3.

6.1.1. Fuentes de luz

El sistema de iluminación mediante la fibra óptica de la piscina-modelo utiliza una fuente de luz situada en un extremo de la piscina, concebida de tal manera que realiza dos funciones diferentes:

- Enviar la máxima cantidad de luz posible a la entrada de la fibra óptica mediante un aparato concentrador de luz.
- Iluminar alrededor de la piscina

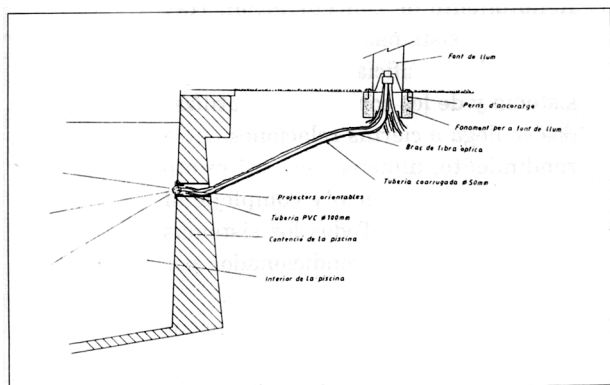


Figura 2.
MEM.F2
Esquema
de la instalación
de las fibras
y proyectores

aprovechando la situación y el diseño de la fuente de luz.

Se sitúa en la parte lateral de la piscina. El chasis consiste en un cilindro construido con una aleación de aluminio con una base cuadrada soldada a éste. La parte superior acaba en un difusor de cristal y una tapa cónica. Los componentes del aparato de iluminación quedan fijados en el chasis cilíndrico mediante soportes.

La fuente de luz se sujeta por la base cuadrada con cuatro pernos de anclaje sobre una base de hormigón. El chasis tiene rejillas de ventilación interior situadas a dos niveles de altura.

La función del aparato concentrador de luz es recoger la máxima cantidad de luz emitida por la lámpara y enfocarla hacia la entrada de la fibra óptica.

Está formado por un reflector de aluminio de forma elíptica, una lámpara de descarga con halogenuros metálicos compacta de 150 W y el equipo de encendido y funcionamiento de la lámpara (reactancia, arrancador, condensador y portalámparas).

El sistema de fijado y protección de la entrada del haz de fibra, está constituido por un pie que fija y permite regular la posición del haz de fibra. El sistema de protección contra el calentamiento a la entrada de las fibras consiste en un filtro anticalórico. El sistema de soporte de ese elemento es el mismo pie que sujeta las fibras.

El sistema de iluminación exterior de los accesos a la piscina se sitúa en la parte superior del chasis y se alimenta mediante una línea eléctrica independiente. Está constituido por un difusor cortado sobre cristal cilíndrico, un portalámparas de rosca estándar E-

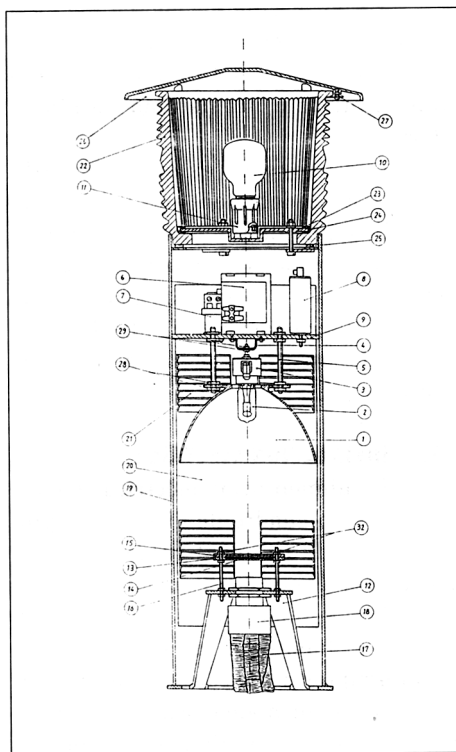


Figura 3.
MEM.F3
Esquema
de la fuente
de luz

27 y una lámpara de incandescencia, o bien, un fluorescente compacto de bajo consumo.

6.1.2. Instalación de la fibra óptica.

Los haces de fibra óptica que se instalan para iluminar el interior de la piscina realizan las funciones de transporte de la luz a través de su núcleo y, posteriormente, la distribuyen por todo el volumen de agua.

Los haces de fibra óptica se componen de un único haz de fibra óptica que formado por 5 brazos de fibra de diámetro 13 mm y 2 brazos de diámetro 12 mm, todos ellos de longitudes diferentes en función del recorrido hasta llegar a las paredes de la piscina. Los siete brazos están unidos por una de sus extremos que es el que queda fijado en el pie del concentrador de luz.

Cada brazo tiene un recubrimiento exterior flexible y estanco que protege mecánicamente las fibras. En su extremo final, las fibras se sujetan encoladas por una terminal roscada de latón. La instalación de los brazos se realiza bajo una tubería de PVC corrugada flexible.

Los proyectores subacuáticos realizan las funciones de proteger, sujetar y orientar las fibras y mantenerla estancidad de la piscina.

En la piscina-modelo se instalan 7 proyectores preparados para ubicar un solo brazo de fibra óptica que son orientables gracias a un sistema de rótula esférica.

Los proyectores se fijan en la pared encolándolos en una tubería de PVC. La salida de la fibra tiene un protector construido con metacrilato transparente para protegerla de golpes y de suciedad (incrustaciones de algas, cal...).

El conjunto se hace estanco mediante juntas tóricas.

6.2. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La alimentación eléctrica se efectúa desde un cuadro de dirección y protección situado en el interior de la caseta de la depuradora de la piscina. La maniobra de encendido y apagado de la fuente de luz se realiza con un interruptor doble con indicador luminoso, independizando el concentrador de luz, de la luz que ilumina el exterior.

7.- DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LAS PRESTACIONES Y PARÁMETROS DEL SISTEMA

En este apartado se enuncia y se realiza una breve justificación de los aspectos más relevantes y de las prestaciones de los componentes del sistema de iluminación diseñados que tienen más importancia para la función que realizan.

7.1. PARTE DE ILUMINACIÓN

El proceso seguido para escoger algunos de los componentes del sistema de iluminación requiere definir toda una serie de criterios a seguir para resolver toda la problemática que comporta el diseño de un sistema de iluminación de estas características. Toda esta problemática se puede resumir en:

- 1º Rendimiento de la fibra óptica: La fibra óptica tiene un cierto rendimiento en función de su calidad que se evalúa en dB/km. A mayor distancia de transmisión, mayores son los costes de la instalación y las pérdidas del sistema.
- 2º Angulo de apertura numérica: La luz concentrada tiene que incidir sobre la fibra óptica con un cierto ángulo máximo, si no parte de la luz no se transporta. Este ángulo máximo depende del tipo de fibra utilizada.

- 3º Rendimiento de concentración: Hay diferentes sistemas eficaces para concentrar luz artificial. En función del sistema y de los componentes utilizados se llega a ciertas relaciones entre rendimiento, dimensiones del punto emisor de luz, precio y complejidad del concentrador. Todos los sistemas están fuertemente condicionados por el tipo de lámpara que se utilice.
- 4º Temperatura en la zona de concentración: Si no se trata convenientemente la componente infrarroja emitida por la lámpara se producen altas temperaturas en la zona de concentración. El calentamiento está fuertemente condicionado al tipo de lámpara que se utilice.

El sistema propuesto resuelve toda esta problemática con éxito, ofreciendo una relación coste-prestaciones comparable a los sistemas convencionales.

7.1.1. Fuente de luz

Es un rasante de jardín de la marca BCJ modelo F -47 modificado para incorporar el sistema de concentración de luz. Se ha escogido un rasante de estas características por los motivos siguientes:

Por un lado, la limitación de las distancias de fibra óptica para que no se vea afectado el rendimiento global del sistema. Ello conduce a que, los aparatos concentradores de luz se tengan que situar cerca de la piscina. Y, por otro, las condiciones de seguridad impuestas por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, nos han hecho decidir para aprovechar la estética y la funcionalidad de un elemento que está presente en los jardines para incorporar el sistema de concentración de luz que se necesita para iluminar la piscina. De esta manera, se resuelven las limitaciones de distancias y las condiciones del R.B.T.

La adaptación del sistema concentrador de luz ha originado algunas modificaciones dimensionales respecto al modelo inicial de partida que se exponen y se justifican a continuación: Las dimensiones. El diámetro del cuerpo cilíndrico es de 21 cm. y la altura total del rasante es de 85 cm.

El cristal difusor y la tapa de la parte superior han variado proporcio-

nalmente al aumento de diámetro del rasante respecto al modelo F-47.

El cuerpo cilíndrico tiene una puerta lateral para poder efectuar el mantenimiento del aparato concentrador de luz con comodidad sin tener que desmontar los componentes del rasante de forma innecesaria.

Este cuerpo cilíndrico se ha dotado de rejillas de ventilación a dos niveles: al nivel de las fibras ya nivel del reflector. El aleteado de las rejillas de ventilación está diseñado para que se garantice el grado de protección en la parte eléctrica de IP-447 según el R.B.T.

La solución final de ventilación adoptada para evacuar el calentamiento producido por la lámpara del concentrador, se ha escogido ya que favorece la circulación del aire alrededor de los puntos más valientes del aparato refrigerándolos suficientemente, como se ha podido comprobar en los distintos ensayos de calentamiento realizados.

7.1.2. Aparato concentrador de la fuente de luz

El aparato concentrador se basa en un reflector de geometría elipsoidal, que produce la concentración de los rayos luminosos cuando el emisor de la lámpara se encuentra situada en el foco del reflector. Se ha llegado a esta solución después de un estudio de diferentes sistemas de concentración, como por ejemplo el sistema de reflector parabólico y lente concentradora o el de reflector esférico y tren de lentes concentradoras.

De todas las alternativas planteadas de sistemas de concentración de luz, es el que consta de menos elementos, da mejores prestaciones y es el menos sensible ante variaciones del tipo de lámpara utilizada.

7.1.2.1. Parámetros y prestaciones generales del concentrador

- Cantidad de concentradores: uno
- Consumo: 150 W

Los ensayos de rendimiento y distribución lumínicos realizados con el prototipo construido, han determinado una serie de criterios básicos que permiten dar una regla de cálculo para la cantidad de concentradores que se necesita según las dimensiones de la piscina. En el caso de la piscina-modelo a estudiar, un solo aparato es suficiente.

- Diámetro de la concentración de luz: 42 mm.

Es el diámetro del punto de luz que proporciona el aparato concentrador.

- Angulo de concentración: 30-32°

Es una condición de diseño que tiene que cumplirse, ya que un rayo luminoso que incide en la entrada de la fibra óptica con un ángulo superior a los 32° respecto su eje no se transmite a través de la fibra óptica.

- Rendimiento de la concentración de luz: 41,6% para un diámetro de punto de luz de 33,5 mm.

Este valor está condicionado por el rendimiento de los componentes que intervienen en la concentración (reflector, filtro anticalórico y lámpara) y es variable en función del diámetro del haz de fibra óptica escogido en la solución final del sistema.

- Temperatura en régimen permanente: 110°

El sistema de concentración se ha dotado de ventilación por convención natural y de filtro anticalórico para que la temperatura de funcionamiento en régimen permanente de los componentes, no sea superior a los límites de temperatura del reflector, lámpara, filtro y encolado especial de la fibra óptica.

Los 110° se encuentran lejos de las temperaturas de funcionamiento que pueden soportar las zonas del concentrador llamadas críticas (alrededor de 300°).

7.1.2.2. El reflector

El reflector tiene forma elipsoidal. Para el diseño del dimensionado del reflector se ha elaborado un estudio y se ha seguido el siguiente proceso:

- 1° Se ha confeccionado un programa informático de simulación para el cálculo y diseño, donde se pueden variar la geometría de los reflectores y de los tipos de lámparas utilizadas. Con la ayuda de esta herramienta y después de sucesivas simulaciones, se ha determinado el diseño óptimo y el rendimiento en la zona de concentración.
- 2° Se ha construido un prototipo experimental para comprobar la validez del programa y determinar sus prestaciones.

3° En función de los resultados obtenidos se propone un dimensionado definitivo.

Rendimiento (poder de reflexión): 85 a 90%

Temperatura crítica de deformación del material: 400 °C

7.1.2.3. Equipo y lámpara

Tipo de lámpara: Se utiliza una lámpara de descarga con Halogenuros metálicos compacto de 150 W 220 V

Flujo lumínico: 12.000 lm

Temperatura de color: 3000 K

Vida media: 6000 h

Entre todas las lámparas disponibles en el mercado, se ha escogido esta lámpara porque es la que mejor se ajusta a nuestras necesidades descritas por los criterios siguientes:

- 1° El emisor de la lámpara ha de ser de dimensiones reducidas (menor de 15 mm de longitud).
- 2° Utilización de lámparas de alta eficacia. Se estima que la lámpara deberá tener un rendimiento mínimo de 60 Lumen/W aproximadamente.
- 3° Para evitar al máximo las pérdidas frontales, la lámpara tiene que emitir mayoritariamente en direcciones radiales respecto a su eje.
- 4° Lámpara de luz fría, es decir, con poca emisión de infrarrojos.
- 5° Vida media superior a las 2.000 horas aproximadamente.

7.1.2.4. Filtro anticalórico

Las prestaciones del filtros son:

Longitud de onda filtrada: 750

mm - 1500 mm

Rendimiento del filtraje: 85%

Rendimiento de la banda de paso (componente visible): 90%

El filtro anticalórico es un componente necesario que realiza la función de protección de la entrada de la fibra contra el calentamiento y envejecimiento.

El filtro escogido está formado por un tipo de recubrimiento anticalórico, montado sobre un soporte de cristal resistente a la temperatura de unos 350 °C, pyrex o similar.

7.1.3. Haz de fibra óptica.

Se utiliza un haz de fibra óptica con un diámetro total a la entrada de 33,5 m m que se divide en siete brazos de longitudes y secciones:

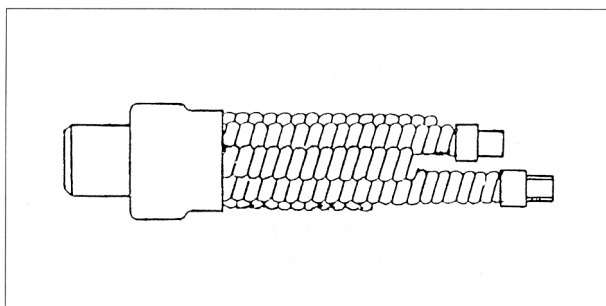


Figura 4.
MEM.F4. Esquema del haz de fibra óptica.

2 brazos de $\phi = 12$ mm y longitud = 4,00 m

2 brazos de $\phi = 13$ m m y longitud = 2,50 m

2 brazos de $\phi = 13$ m m y longitud = 2,00 m

1 brazo de $\phi = 13$ m m y longitud = 1,70 m

Para la elección del haz de fibra óptica han influido tres factores:

- 1° Los puntos de luz mínimos para obtener la distribución lumínica deseada dentro de la piscina. El criterio, justificado por los ensayos realizados con el prototipo, se ha fijado en un mínimo de seis puntos de luz.
- 2° El rendimiento global del sistema para cubrir la cantidad de lúmenes necesarios. Este afecta a la longitud de los brazos de fibra y al diámetro nominal del haz.
- 3° El catálogo limitado de mecanizados y tallos de fibras disponibles. Este factor condiciona el diámetro de cada brazo.

7.1.4. Proyector

El sistema de esfera orientable donde va adosada la salida de fibra óptica se ha escogido por la simplicidad del mecanismo, que consiste en una esfera que reposa sobre un cuerpo fijado y que se sostiene mediante una pieza roscada sobre el mismo cuerpo. Por otro lado, cumple perfectamente las funciones de orientación y protección de las fibras. Otra ventaja que presenta es que puede modificarse la orientación de la fibra con la piscina llena ya que se dispone de una gran flexibilidad a la hora de ajustar la distribución lumínica deseada.

8.- COSTES DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

8.1. COSTE DE LA INSTALACIÓN

El coste aproximado para iluminar la piscina-modelo, objeto de estudio, con la tecnología de la fibra óptica es de 300.000 Pta repartidas en estos tres capítulos:

Coste de adquisición de la fibra óptica 65%
 Coste estimativo de la fuente de luz 15%
 Coste de la instalación y material restante 20%

8.2 COSTE DE MANTENIMIENTO Y CONSUMO

El mantenimiento de la iluminación de la piscina consistirá en las siguientes operaciones.

- Una revisión anual completa cios de temporada donde se comprueba el estado tanto de las fuentes de luz como de la parte eléctrica. También se realiza la limpieza de los componentes del aparato concentrador (reflector, filtro y lámpara) y la entrada y salida de las fibras.
- La reposición de los diferentes elementos que están en mal estado durante los meses que está en servicio. Básicamente son lámparas y filtros.
- Limpiezas periódicas cada tres meses del aparato concentrador de luz si las condicione ambientales lo requieren.

El estudio realizado del coste aproximado anual del mantenimiento, suponiendo que la utilización del sistema oscila entre 500 y 700 horas anuales, es de 20.000 pts anuales.

Por lo que hace referencia al consumo, oscilará entre las 1300 y 1700 pts anuales para el mismo tiempo de utilización.

9.- DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN CONVENCIONAL PARA LA PISCINA.MODELO

Para poder realizar un estudio comparativo, se ha diseñado y calculado un sistema de iluminación convencional de piscinas con proyectores a 12 V fijados en las paredes de la piscina.

9.1. BREVE DESCRIPCIÓN

El sistema diseñado está formado por dos focos fijados en las paredes de la piscina con lámparas de incandescencia de 300 W 12 V. Estos se alimentan desde los dos transformadores de 220/12 V alejados del perímetro de la piscina en un extremo.

9.2. TABLA DE COSTES

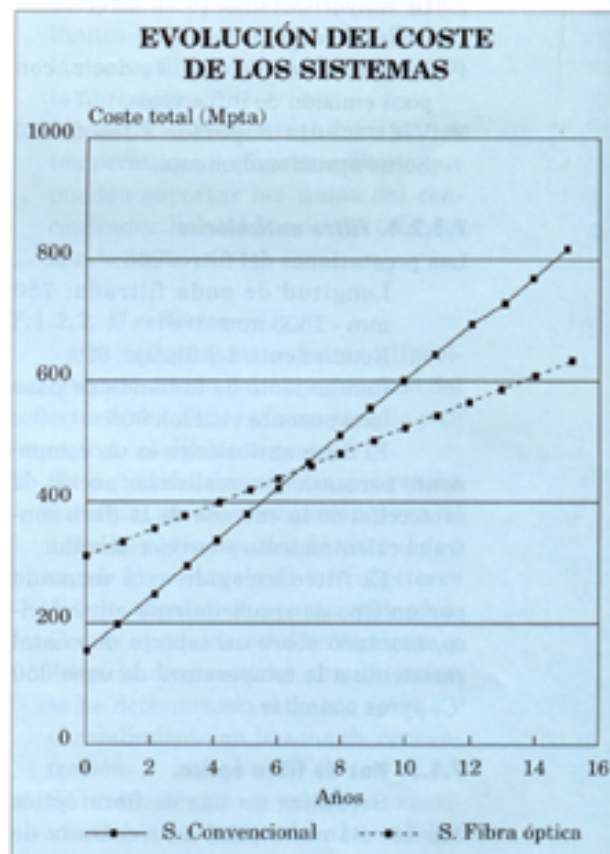
La siguiente tabla presenta los costes aproximados del sistema de iluminación convencional de estas características:

Coste de la instalación 170.000 Pta
 Coste de mantenimiento anual 40.000 Pta
 Coste energético anual 5.000 / 7.000 Pta

10.- COMPARATIVO ENTRE SISTEMA CONVENCIONAL DE ILUMINACIÓN DE PISCINAS y EL PROPUESTO

10.1 TABLA COMPARATIVA DE COSTES DE AMBOS SISTEMAS

	Sistema convencional	Sistema f. óptica
Coste instalación	170.000 Pta	300.000 Pta
Coste mantenimiento anual	40.000 Pta	20.000 Pta
Coste consumo anual	5.000 Pta	1.300 Pta



10.2 COMPARATIVO DE VENTAJAS E INCONVENIENTES DE AMBOS SISTEMAS

<p>Ventajas</p> <p>S. iluminación convencional</p> <ul style="list-style-type: none"> — El coste de instalación es notablemente inferior al sistema con f. óptica. — Es un sistema que tiene pocos componentes, de construcción simple y rápidos de instalar. 	<p>S. iluminación con fibra óptica</p> <ul style="list-style-type: none"> — Ausencia de electricidad dentro de la piscina — Flexibilidad en la distribución mínima por la cantidad de puntos de luz y la posibilidad de orientarlos. — Distribución luminica uniforme dentro de la piscina sin zonas oscuras. — Consumos menores al utilizar lámparas de mayor rendimiento. — Las operaciones de mantenimiento son simples y rápidas de efectuar. El coste es inferior al del sistema convencional. — Los puntos de luz no producen deslumbramiento mirando frontalmente. — La fibra óptica aplicada a iluminación es una tecnología muy reciente que en un futuro puede disminuir costes de forma espectacular y mejorar la calidad de las fibras. — Su diseño permite incorporar con facilidad las mejoras del rendimiento de la fibra o nuevos modelos de lámparas.
<p>Inconvenientes</p> <p>S. iluminación convencional</p> <ul style="list-style-type: none"> — Presencia de electricidad dentro de la piscina. En caso de problemas de aislamiento entre primario y secundario de los transformadores un riesgo de electrocución. — Poca flexibilidad en la distribución. Difícilmente pueden eliminarse las zonas oscuras. — La potencia y dimensiones de los focos provocan el deslumbramiento de las personas cuando miran frontalmente. — El mantenimiento de los focos requiere realizar algunas operaciones de montaje bajo el agua o vaciar parcialmente la piscina. — Consumo y coste de mantenimiento superior al sistema con fibra óptica. 	<p>S. iluminación con fibra óptica</p> <ul style="list-style-type: none"> — Coste de la fibra óptica elevado, esto supone un coste muy superior de la instalación respecto al sistema convencional. — A causa de las rejillas de ventilación de las fuentes de luz, se deposita polvo sobre el filtro, la entrada de la fibra y el reflector. Es necesario efectuar limpiezas periódicas de los componentes. — Los haces de fibra se construyen de forma especial para cada proyecto de piscina a iluminar.

11.- ESPECTATIVAS DE FUTURO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE PISCINAS CON FIBRA ÓPTICA

Los elementos que afectan de forma más directa al rendimiento del sistema son la fibra óptica, la lámpara y el reflector. En este apartado, se expone la evolución que han seguido dos de los tres componentes, las posibles mejoras que se están estudiando para aumentar su rendimiento y su proyección en un futuro inmediato.

11.1 LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica aplicada a la iluminación es una tecnología muy reciente

que ha evolucionado de una forma muy rápida en los últimos años. Los esfuerzos de científicos y técnicos se han centrado en aumentar la capacidad de transporte de luz y perfeccionar los sistemas de producción para reducir su coste.

Hace dos años, para iluminar una piscina de las mismas dimensiones y con los mismos criterios de elección que se han utilizado en el proyecto, se necesitaba duplicar el número de fuentes de luz y de haces de fibra. Esto era debido a que se trabajaba con fibras de 500 dB/Km de atenuación al mismo precio de la fibra de 250 dB/Km que se utiliza

en este diseño. En consecuencia el coste para iluminar la piscina modelo era más del doble que en la actualidad.

Hoy, ya se fabrican fibras para iluminación de atenuación de hasta 100 dB/km. encontrándose aún en fase de experimentación. Esto supondría aumentar el rendimiento del sistema en un 6% ó poder trabajar con distancias de fibra mayores sin que disminuya el rendimiento global del sistema.

Continuando con esta línea de progreso, ya se empiezan a construir haces de fibra en los que, el terminal común a los brazos se une mediante un proceso de microfusión de las fibras. De esta forma se puede mejorar el rendimiento en la entrada de la fibra de un 15 a un 20 %. Para el caso particular de la piscina modelo, habría supuesto un ahorro aproximado de 50.000 pts en fibra, lo que representaría un 15% de reducción del coste global del sistema. En el campo de la fibra óptica, pues, se puede afirmar que existen buenas expectativas de futuro.

11.2 EVOLUCIÓN DE LAS LÁMPARAS

Una de las conclusiones importantes que se desprenden del estudio y diseño del concentrador de luz, es la necesidad de trabajar con emisores de dimensiones reducidas, ya que la disminución de tamaño de la zona de concentración de luz es considerable. Este efecto supone poder reducir los diámetros de fibra a utilizar.

Por ejemplo, si se consigue reducir el diámetro de concentración de 35 a 21 mm, manteniendo el mismo rendimiento global, cosa que es perfectamente viable con un tamaño de emisor de 6 mm., la iluminación de la piscina modelo supondría un ahorro de unas 100.000 pts, lo que representaría un 35% de reducción del coste global del sistema.

El tipo de lámpara de alta eficiencia y de dimensiones reducidas utilizado en este proyecto, es el producto de mercado que más se ha acercado a nuestras necesidades para concentrar la luz de forma eficiente, pero, no es el modelo de lámpara ideal. Actualmente existen en el mercado lámparas de alta eficiencia con emisores hasta de 2 mm., comercializados para la industria cinematográfica, pero su vida media de 300 horas y su ele-

vado precio darían como resultado un producto poco competitivo en nuestro caso.

12.- CONCLUSIONES

El sistema desarrollado para la iluminación de piscinas, presenta una excelente flexibilidad en la distribución de luz y un rendimiento similar a los sistemas actuales. Comparativamente, utiliza un número menor de fuentes de luz y lámparas de menor potencia, lo que representa un ahorro energético.

El efecto decorativo se ve reforzado porque se consigue iluminar la piscina de forma homogénea sin zonas oscuras.

Se estima que el coste de mantenimiento del sistema se reduzca a la mitad respecto al sistema actual, pero, el coste inicial de instalación se duplique.

Puede afirmarse, pues, que nos encontramos con un sistema mejor que el convencional respecto a servicio, la seguridad, el consumo y mantenimiento, pero con un coste inicial de instalación elevado. En cambio, el coste global del sistema propuesto es rentable después de cierto período de utilización, ya que los costes de mantenimiento y consumo son menores que en los sistemas convencionales. Se ha estimado un período de 7,5 años para piscinas privadas con una utilización media de 600 horas anuales; sin embargo, este período se refuerce notablemente hasta 2 ó 3 años en el caso de piscinas públicas, de hoteles o de instalaciones deportivas, donde el tiempo de utilización puede llegar a las 7000 horas anuales.

Estamos ante un producto innovador con un gran potencial de desarrollo a corto plazo. Su punto débil, actualmente, es el coste inicial, aunque este puede reducirse espectacularmente dependiendo de tres factores:

- 1º Reducir el tamaño de punto de concentración de la fuente de luz, mediante lámparas de emisores de pequeñas dimensiones y larga duración.
- 2º Mejorar el rendimiento de concentración mediante lámparas con una distribución lumínica especial para aplicaciones de fibra óptica.
- 3º Mejorar la capacidad de transporte de la fibra óptica

Las tres son viables desde el punto de vista tecnológico. Hoy en día, empresas multinacionales fabricantes de lámparas ya han construido algún modelo para determinadas aplicaciones de fibra óptica. En cuanto a la fibra, nos consta que están en fase de estudio fibras con un rendimiento de transporte muy superior a las que se han utilizado en este proyecto.

La combinación de estos tres factores puede llevar a disminuir el coste global del sistema a la mitad, reducir el consumo y trabajar con distancias de fibras mayores.

Una evolución del sistema propuesto para conseguir rendimientos mayores, no sólo beneficiará al coste de la instalación en piscinas y recintos subacuáticos, sino que ampliará el abanico de aplicaciones de este sistema (iluminación de escaparates, antideflagrante, saunas,...).

13.- BIBLIOGRAFÍA

- M. Morini, Fibras ópticas. Tecnología y aplicaciones
Edit. Marcombo, Barcelona 1990
- Mahlke Goossing, Conductores fibras ópticas
Edit. Marcombo, Barcelona 1986
- D.K, Sattárov, Fibroóptica, Moscú 1977
Edit. Mir, Moscú 1977
- J. Fernández y M. Pujal, Iniciación a la física II
Edit. Reverté, Barcelona 1985
- Begunof, Teoría de sistemas ópticos
Edit. Mir, Moscú 1977
- Casas, Curso de luminotecnia. Fotometría y calorimetría
Barcelona 1974.

14.- DOCUMENTACIÓN GRÁFICA



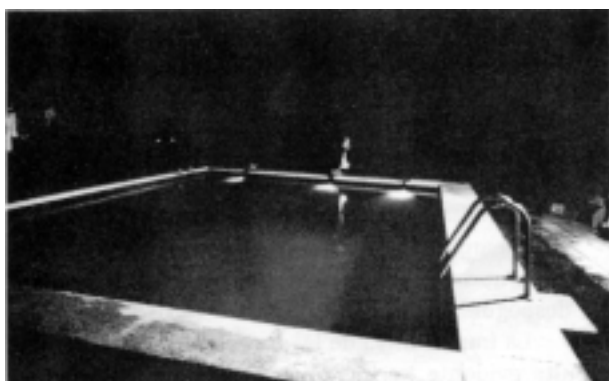
Situación del concentrador alrededor de la piscina



Ensayos de distribución luminica. Distribución de las fibras



Ensayos de distribución luminica. Piscina de 9 x4,5 m.



Efecto de concentración de luz que produce un reflector de la fuente de luz.



Ensayos de distribución luminica con el prototipo construido.