

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
Máster Oficial en Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería



Trabajo Final de Máster

**Obtención de un modelo estadístico para proporcionar QoS en
enlaces inalámbricos ópticos submarinos**

Omar El-Asmar Moreno

Tutores: Jorge Cabrera Gámez
José Alberto Rabadán Borges

Junio 2016

*"No creo que las ondas inalámbricas que he descubierto tengan ninguna aplicación
práctica."*

Heinrich Rudolf Hertz, descubridor de la radiación electromagnética.

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mis padres, Rasem y Ana, por su paciencia, esfuerzo, dedicación para criarme y convertirme en la persona que soy. Si no fuera por ellos, no estaría hoy escribiendo estas líneas.

A mis hermanas, Aisha, Majeda, Alia y Lamia, por ser un apoyo constante y una parte fundamental en mi vida.

A mi pareja, Ariadna, por entenderme y apoyarme en los malos momentos pasados. No puedo recordar cuantas conversaciones ha escuchado sobre este trabajo sin entender la mayoría de las palabras, y sin embargo, siempre había unas palabras de ánimo.

A mis tutores, Jorge y Jose, por brindarme la posibilidad de realizar este proyecto con ellos. No podía olvidarme de Víctor y Cristo, que siempre han estado ahí cuando he necesitado cualquier cosa y podría decirse que han sido como mis tutores suplentes.

Por último, agradecer a las personas que he conocido durante el camino hasta llegar a este momento, en especial a los profesores y compañeros del máster SIANI, ya que en cierta forma todos han formado parte de él y han aportado su pequeño granito de arena.

A todos, gracias.

Índice general

I Memoria	1
1. Introducción	3
1.1. Objetivos	4
1.2. Organización de la memoria	4
2. Antecedentes	7
2.1. Comunicaciones ópticas submarinas no guiadas (UWOC)	7
2.1.1. Fuentes ópticas	8
2.1.2. Fotodetectores	11
2.1.3. Estructuras receptoras	13
2.1.4. Canal óptico submarino	15
2.1.5. Fuentes de ruido	20
2.2. Modelado del canal submarino	22
2.2.1. Propiedades ópticas inherentes	22
2.2.2. Ecuación de transferencia de radiación	22
2.2.3. Soluciones numéricas de la RTE	23
3. Diseño del sistema	25
3.1. Estructura general	25
3.1.1. Diseño del transmisor y el receptor	26
3.1.2. Elección del recipiente	29
3.2. Interfaz de control	33
3.2.1. Control de dispositivos	33
3.2.2. Interfaz gráfica de control	35
4. Medidas de canal y resultados	39
4.1. Caracterización del ruido	39
4.2. Medidas de canal	41
4.2.1. Generación de medidas	41
4.2.2. Análisis	42
4.3. Medidas de canal variable	44
4.3.1. Análisis	46
4.3.2. Modelo de calidad de enlace	47
5. Conclusiones	53

II	Bibliografía	55
	Bibliografía	57
III	Apéndices	59
	A. Hojas de características	61

Índice de figuras

2.1. Modelo de un sistema IM/DD.	7
2.2. Enlace de tipo LOS.	8
2.3. Perfiles de un láser y un led.	9
2.4. Perfil de radiación de un LED.	10
2.5. Estructura con resistencia de carga.	14
2.6. Amplificador de transimpedancia.	15
2.7. Variación de la absorción.	17
2.8. Diagrama del receptor para el análisis de ruido.	21
3.1. Estructura general del sistema de medidas.	25
3.2. Esquema del transmisor y el receptor del sistema.	26
3.3. Esquema del driver de transmisión.	27
3.4. Potencias de transmisión para azul (arriba) y rojo (abajo).	28
3.5. Esquema del driver de recepción.	29
3.6. Esquema del recipiente.	29
3.7. Dimensiones del recipiente y colocación de las bombas.	30
3.8. Geometría y mallado realizado en el simulador.	31
3.9. Velocidad del fluido simulada.	32
3.10. Circuito usado para la activación de las bombas.	33
3.11. Esquema de conexión de equipos y direcciones.	34
3.12. Interfaz de control del sistema.	34
3.13. Funcionamiento del software de control.	36
4.1. Ajuste del ruido de canal con la PDF (arriba) y con la ECDF (abajo).	40
4.2. Valores de atenuación para el caso estático (arriba) y en movimiento (abajo).	43
4.3. Montaje para las medidas con simulación de viento.	45
4.4. Tiempo de coherencia para el rojo (arriba) y el azul (abajo).	46
4.5. Tiempo de disponibilidad del canal.	48
4.6. Tiempo de disponibilidad del canal.	50

Índice de tablas

2.1. Absorción, scattering y coeficiente de extinción para diferentes tipos de agua.	16
4.1. Configuración de la interfaz para obtener las medidas.	41
4.2. Parámetros para la toma de medidas.	45
4.3. Valores de atenuación para el caso variable.	47
4.4. Parámetros iniciales del modelo.	50
4.5. Valores restantes de los parámetros.	51
4.6. Parámetros finales del modelo.	51

Lista de acronimos

ADC - Analog-to-Digital Converter

APD - Avalanche PhotoDiode

DOM - Disolved Organic Matter

ECFD - Empirical Cumulative Distribution Function

FOV - Field-Of-View

IM/DD - Intensity Modulation/Direct Detection

IOP - Inherent Optical Properties

ISI - InterSymbol Interference

LF - Low Frequency

LOS - Line-Of-Sight

LTI - Linear Time-Invariant

NTU - Nephelometric Turbidity Unit

OOK - On-Off Keying

PDF - Probability Distribution Function

PIN - Positive-Intrinsic-Negative

PN - Positive-Negative

RTE - Radiative Transfer Equation

SCPI - Standard Commands for Programmable Instruments

SNR - Signal to Noise Ratio

UWOC - Underwater Wireless Optical Communications

UWSN - Underwater Wireless Sensor Networks

WLED - White LED

Resumen

Las comunicaciones ópticas submarinas no guiadas (UWOC) han supuesto una revolución en el mundo submarino y han logrado situarse como una gran alternativa frente a tecnologías como los ultrasonidos o la radiofrecuencia. No obstante al ser el medio submarino un medio tan hostil y no estacionario, las comunicaciones ópticas sufren diversos fenómenos que afectan a su comportamiento. La gran complejidad que conlleva estudiar estos fenómenos y caracterizarlos para todas las regiones del medio submarino ha hecho que aún no se hayan propuesto modelos de comunicación consistentes que ayuden a facilitar el despliegue de las comunicaciones ópticas en dicho medio.

En este trabajo se propone la obtención de un modelo estadístico que permita estimar las potencias de transmisión necesarias, así como otros parámetros del canal, con una cierta calidad de enlace.

Abstract

Underwater wireless optical communications have supposed a revolution in the submarine medium becoming an alternative to other classical technologies like radiofrequency and ultrasounds. Nevertheless, the underwater channel is an hostile and non-stationary mediud where communications suffer from several phenomena that affect its behaviour. The great complexity involved in studying these phenomena and to characterize all regions of the underwater environment has made that consistent models to facilitate the deployment of optical communications in this medium has not been done.

In this work, we try to overcome this lack so a statistical model to estimate the necessary transmission powers and other parameters with a certain link quality is proposed.

Parte I

Memoria

Capítulo 1

Introducción

En los últimos años ha surgido una creciente necesidad por ampliar el radio de acción de las comunicaciones dentro de los entornos submarinos para explorar y estudiar determinados fenómenos que ocurren en ellos. Esto ha motivado el desarrollo de numerosas aplicaciones medioambientales tales como estudios de contaminación y calidad del agua o aplicaciones industriales como el control de extracciones petrolíferas y sistemas de salvamento marítimo [1, 2, 3]. Haciendo un enfoque descendente, a la hora de realizar cualquier aplicación hay que tener en cuenta tanto la aplicación en sí como la tecnología a emplear [4]. De este último punto habrá que tener en cuenta además aspectos de bajo nivel como la propagación de la señal en el medio, los modelos de canal y las topologías de transceptores.

Tradicionalmente, las comunicaciones en este entorno han estado basadas en emisiones electromagnéticas de baja frecuencia (LF - Low Frequency) [5, 6] o ultrasonidos [7, 8]. En el caso de las emisiones de radiofrecuencia, la propagación submarina es prácticamente imposible en todas las bandas, salvo para frecuencias extremadamente bajas (que llevan asociadas una longitud de onda extremadamente larga). Para estas frecuencias LF el agua presenta un comportamiento menos hostil, pero conlleva velocidades de transmisión muy bajas ya que la capacidad del canal es muy reducida, además de precisar unas antenas de longitudes que resultan impracticables en muchas aplicaciones [9].

En lo referente a ultrasonidos, las ondas de presión tienen alcances kilométricos, con lo que este tipo de tecnología permite enlaces de baja velocidad a distancias muy elevadas. Por otro lado, el uso de este tipo de ondas en aguas poco profundas puede verse afectado por gradientes de temperatura, el ruido ambiente y la propagación de trayectos múltiples debido a los fenómenos de reflexión y refracción. Además, la lenta velocidad de propagación en el agua en comparación con la velocidad de la luz en el mismo medio y el ancho de banda limitado son otros factores limitadores para la comunicación eficiente y la creación de redes, ya que obligan a tener nuevos protocolos de comunicaciones eficientes y fiables. A esto hay que añadir el hecho de que en ciertas aplicaciones las potencias acústicas transmitidas tienen efectos potencialmente nocivos para la salud de la fauna marina.

Las comunicaciones ópticas submarinas no guiadas (UWOC - Underwater Wireless Optical Communications) surgen como un novedoso campo de aplicación de las comunicaciones en luz visible y son una buena alternativa a las dos tecnologías anteriores en escenarios donde no se precisen distancias muy largas pero sean necesarias tasas de transmisión elevadas. A pesar de que la extinción de la radiación óptica bajo del agua es mayor que para el caso acústico, la velocidad de conmutación de los dispositivos electro-ópticos pone de manifiesto las ventajas de esta tecnología. Por otro lado, se deben tener en cuenta los fenómenos de interacción a los que se ven sometidas las comunicaciones ópticas en el agua, tales como el scattering y la absorción, para asegurar que las comunicaciones se realicen correctamente.

No obstante, dada la naturaleza aleatoria de los fenómenos de interacción luz-materia que tienen lugar en este medio, el análisis estacionario del canal no es factible en algunos casos. Además, el bajo tiempo de coherencia debido tanto a la movilidad de las partículas como al posible paso de fauna marina, hacen que este canal sea bastante complejo de analizar con las suposiciones de linealidad e invarianza (LTI) típicas de los canales radio. Es por ello que la existencia de un modelo que fuera capaz de asegurar que las comunicaciones se realicen con una cierta calidad de enlace, conociendo a priori ciertos parámetros del canal submarino, facilitaría enormemente tanto el diseño del sistema de transmisión como su gestión dentro del canal.

1.1. Objetivos

- Diseño de una interfaz de control y adquisición de datos que permita obtener diferentes medidas del canal y almacenarlos para su análisis posterior.
- Definición de un procedimiento de medida para obtener la función de distribución de probabilidad de los parámetros del canal considerados.
- Estudio del ruido del canal y definición de un procedimiento para cancelar su efecto en los resultados obtenidos.
- Obtención de parámetros característicos del canal usando las medidas realizadas y propuesta de un modelo estadístico para proporcionar QoS en un canal definido.

1.2. Organización de la memoria

El presente trabajo se ha dividido de la siguiente manera:

- **Parte I Memoria**

Se presenta la memoria del trabajo realizado, compuesta por los 5 capítulos detallados a continuación:

- **Capítulo 1: Introducción**

Como ya se ha visto, en este capítulo se expone el marco general sobre el cual se desarrolla el proyecto y se explica detalladamente el objetivo principal.

- **Capítulo 2: Antecedentes**

Este capítulo recoge los antecedentes y datos previos a la realización del proyecto.

- **Capítulo 3: Diseño del sistema**

En este capítulo se explica el diseño y montaje del sistema que nos permitirá obtener medidas de canal submarino.

- **Capítulo 4: Generación de medidas y resultados**

En este capítulo se obtienen medidas de señal recibida empleando el sistema implementado en el capítulo anterior y bajo diferentes condiciones de contorno. Una vez generadas las medidas se analizan los resultados.

- **Capítulo 5: Conclusiones**

En este capítulo se presentan las conclusiones extraídas durante el desarrollo del proyecto.

- **Parte II Bibliografía**

En este apartado se recogen las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo de la memoria.

- **Parte III Apéndices**

En este apartado se presentan datasheets y manuales de los equipos y dispositivos empleados en el proyecto.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Comunicaciones ópticas submarinas no guiadas (UWOC)

La mayoría de los canales de comunicaciones ópticos se definen como modulados en intensidad con detección directa (IM/DD - Intensity Modulation/Direct Detection) y están formados por tres partes diferenciadas: el transmisor, el canal y el receptor, tal y como se puede observar en la Figura 2.1.

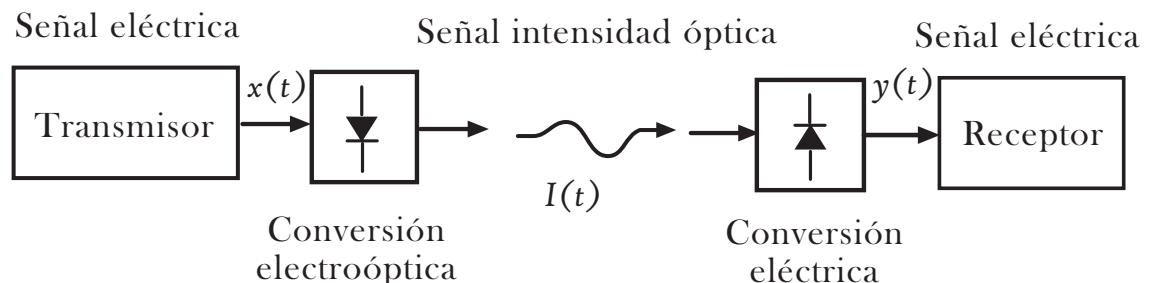


Figura 2.1: Modelo de un sistema IM/DD.

El transmisor se encarga de enviar la información modulando la intensidad radiante de forma instantánea, $I(t)$, como resultado de aplicar una corriente de excitación a la fuente $x(t)$, siendo necesaria una conversión electro-óptica a través de una fuente led o láser. De esta forma, la información está contenida sólo en la intensidad de la señal, la cual se define como potencia por unidad de ángulo sólido (W/sr).

El canal es el medio a través del cual debe viajar la señal modulada con la información hacia el receptor, sufriendo desvanecimientos y deformaciones que dependerán de las características propias del canal. En el caso de un canal submarino existen diversos fenómenos cuyo comportamiento se vuelve más dominante que en el caso de espacio libre y que deben ser tenidos en cuenta para asegurar un buen funcionamiento del enlace.

El receptor se encarga de recuperar la señal realizando una conversión opto-eléctrica, la cual supone una detección directa de la potencia óptica incidente, ya que se produce una fotocorriente, $y(t)$, proporcional a la irradiancia recibida (potencia incidente por unidad de superficie, W/m^2). A diferencia de los sistemas radio, donde el desvanecimiento por multitrayectoria supone un problema, los receptores ópticos poseen características de diversidad espacial inherentes por el hecho de tener una dimensiones varios órdenes de magnitud superiores a la longitud de onda de trabajo. No obstante, la respuesta impulsiva del canal puede afectar negativamente a las comunicaciones llegando a producir interferencia entre símbolos (ISI - InterSymbol Interference). Para calcular la potencia necesaria en un enlace como el de la Figura 2.1 podemos emplear la Ecuación 2.1, que define la potencia necesaria en espacio libre.

$$P_{tx} = \frac{S \cdot d^2}{A_{eff} \cdot R(\theta, n)} \quad (2.1)$$

donde S es la sensibilidad del receptor, A_{eff} es el área de recepción, d es la distancia del enlace y $R(\theta, n)$ es un factor que depende del tipo de fuente y su apuntamiento.

Generalmente, el modelo de enlace de comunicación submarina entre el transmisor y el receptor puede realizarse de varias formas [10, 11], aunque lo más habitual suele ser emplear un enlace de tipo LOS (Line-of-Sight) tal y como se muestra en la Figura 2.2, donde el transmisor dirige el haz de luz en dirección al receptor. El alto grado de apuntamiento y la visión directa entre el transmisor y el receptor mitigan la aparición de dispersión temporal, de forma que el ancho de banda no se ve reducido. Asimismo, se consiguen enlaces más eficientes energéticamente a costa de sacrificar la movilidad.

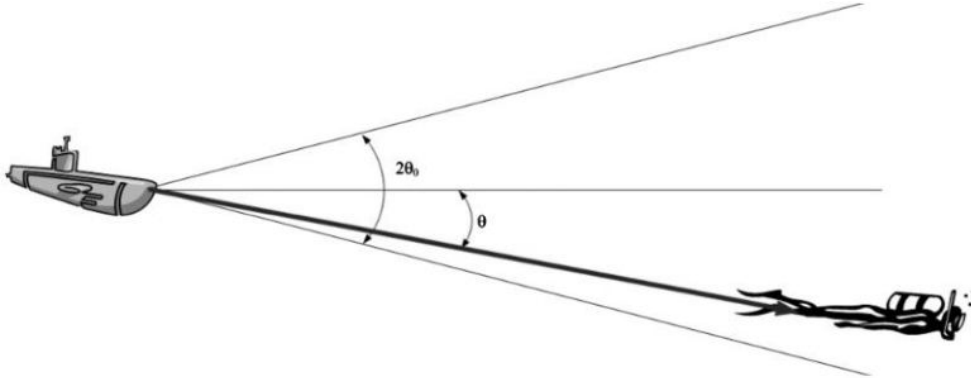


Figura 2.2: Enlace de tipo LOS.

2.1.1. Fuentes ópticas

Las principales fuentes empleadas en los sistemas de comunicaciones ópticas son el láser y el led. Su estructura básica, en ambos casos, es la heterounión o lo que es lo mismo, la unión de dos semiconductores con energías de gap distintas. La región de emisión es una unión PN (Positive-Negative) de semiconductores de gap directo que al ser polarizada en directa provoca que los portadores mayoritarios se difundan

y recombinen, emitiendo energía en forma de luz (proceso radiativo) o disipándose en forma de calor (proceso no radiativo).

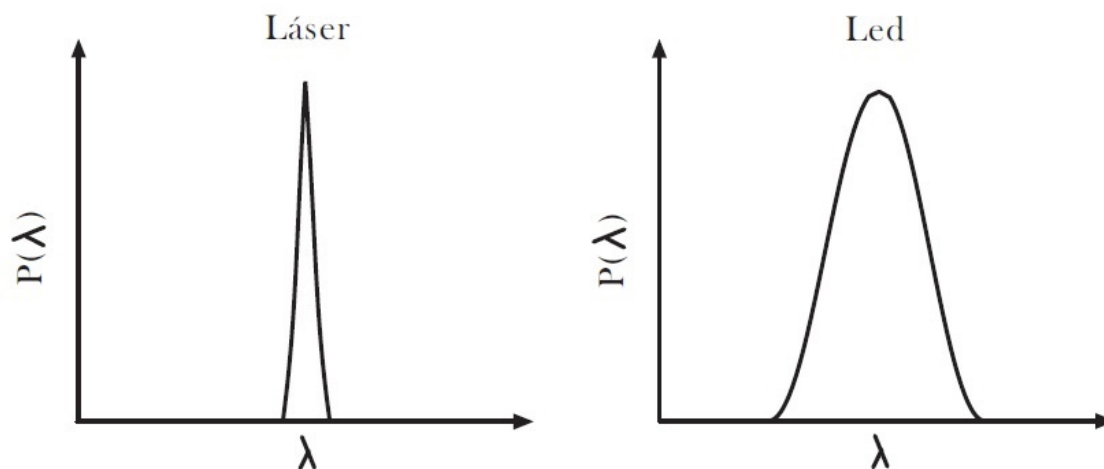


Figura 2.3: Perfiles de un láser y un led.

La principal diferencia entre los láser y los leds es la coherencia de la luz emitida. La radiación producida por un láser generalmente se produce en una cavidad resonante, lo que le confiere una alta coherencia tanto espacial como temporal. Esto se traduce en una gran monocromaticidad y una alta directividad, siendo especialmente indicados para los enlaces punto a punto. No obstante, existen límites en la potencia de emisión debido a las lesiones oculares o cutáneas que se podrían generar y que dependen de la longitud de onda, el tipo de radiación (continua o pulsada) y del tamaño de la fuente [12, 13]. Por contra, en un led no hay tal cavidad y la radiación resultante tiene una anchura espectral considerable y además incoherente. Respecto a los láser también hay que añadir la necesidad de un gran apuntamiento, ya que al concentrar la potencia en un ángulo sólido tan reducido, cualquier movimiento puede producir una pérdida de comunicación. Cabe destacar que su uso para redes de sensores inalámbricas submarinas (UWSN - Underwater Wireless Sensor Networks) sería impracticable debido a que los nodos estarán siempre sujetos a movimientos del oleaje o corrientes marinas (incluso cuando estén anclados en el fondo marino) y el coste añadido de implementar sistemas de apuntamiento automático o estabilización de temperatura no sería práctico.

La mayor ventaja de un láser frente a un led es una menor velocidad de recombinación (de uno a dos órdenes de magnitud por debajo), lo que redundaría en una mayor velocidad de conmutación. Sin embargo, sus características se ven alteradas con el paso del tiempo y además son muy dependientes de la temperatura, hecho que no sucede con los leds. Por consiguiente, se necesitan circuitos de compensación extra para su correcto funcionamiento que añadido a la mayor dificultad en su fabricación, incrementan los costes. Por último, la característica corriente-potencia de los láser es menos lineal que en el caso de los leds.

Uno de los patrones de radiación más comunes en dispositivos tipo led es el patrón lambertiano degenerado, el cual se muestra en la Ecuación 2.2.

$$R(\theta, m) = \frac{n+1}{2\pi} \cos^n \theta \quad (2.2)$$

donde θ es el ángulo de apuntamiento de la fuente y n es el patrón lambertiano que la caracteriza.

Perfil de radiación

La mayoría de las fuentes ópticas del mercado presentan diagramas de radiación lambertianos del estilo de la Figura 2.4 y responden a la Ecuación 2.3:

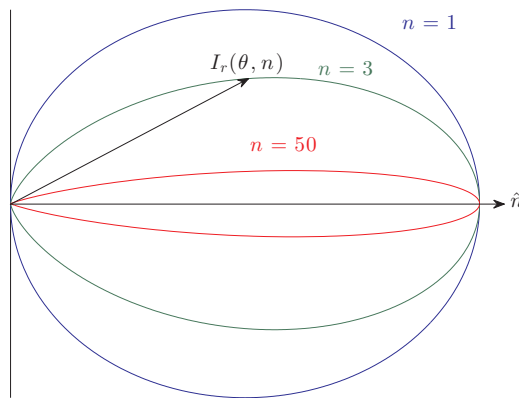


Figura 2.4: Perfil de radiación de un LED.

$$I_r(\theta, n) = I_0 \cos^n \theta \quad (W/sr) \quad (2.3)$$

donde n viene dado por el ángulo mitad ($\theta_{1/2}$), ángulo para el cual la intensidad es la mitad de la intensidad axial (máxima).

$$\frac{I_0}{2} = I_0 \cos^n \theta_{1/2} \quad (W/sr) \quad (2.4)$$

$$n = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos \theta_{1/2})} \quad (2.5)$$

El máximo ángulo mitad es de 60° grados que se corresponde con una radiación lambertiana pura ($n = 1$). Para valores altos ($n > 100$) el haz es muy directivo ($\theta_{1/2} \approx 7^\circ$) y el grado de colimación es alto. Cuando la fuente está encapsulada con reflectores internos o su diagrama de radiación adopta formas distintas de las mencionadas, se recurre al modelo exacto obtenido de sus características o medido en el laboratorio.

2.1.2. Fotodetectores

Los fotodetectores son dispositivos de estado sólido que realizan la operación inversa a las fuentes ópticas, convirtiendo la potencia óptica incidente en una corriente eléctrica. Podemos encontrar varios tipos como son los fotodiodos, ya sea PIN (Positive-Intrinsic-Negative) o de avalancha (APD - Avalanche PhotoDiode), que proporcionan una alta sensibilidad y tiempo de respuesta, o los fototransistores que tienen bajo ruido y una alta ganancia que suprimiría la necesidad de una etapa de pre-amplificación a su salida.

Fototransistores

Los fototransistores combinan en un mismo dispositivo la detección de luz y la amplificación de corriente. Su construcción es similar a la de los transistores convencionales, excepto que la superficie superior se expone a la luz a través de una lente que ayuda a proporcionar una sensibilidad direccional. Los fotones incidentes generan pares electrón-hueco que debido a las tensiones de polarización inversa de la unión colector-base llevan los huecos a la superficie de la base y los electrones al colector. El movimiento de estos portadores da lugar a la llamada fotocorriente primaria I_{pho} que fluye desde el colector hacia la base.

En este punto la acción convencional del transistor se lleva a cabo con los electrones inyectados del emisor cruzando la pequeña región de la base y alcanzando el colector que es más positivo. Este flujo de electrones constituye una corriente de colector inducida por la luz. Los pares electrón-hueco fotoinducidos contribuyen a la corriente de base y si el fototransistor se conecta en configuración de emisor común, la corriente de base inducida por la luz, aparece como corriente de colector multiplicada por β , que es la ganancia en corriente del fototransistor:

$$I_{ph} = \beta I_{pho}. \quad (2.6)$$

donde I_{pho} es la fotocorriente primaria y I_{ph} es la fotocorriente amplificada obtenida a la salida del fototransistor.

Fotodiodos PIN

El fotodiodo PIN consta de dos regiones N y P separadas por una región intrínseca I, dopada ligeramente de material N. Al ser polarizado en inversa generalmente no conduce (salvo la corriente de oscuridad) debido a que la región intrínseca está completamente llena de portadores. Su funcionamiento se basa en la generación de pares electrón-hueco en una región de campo eléctrico alto (zona de depleción de la unión) cuando incide una radiación óptica sobre el material (fotogeneración de corriente o fotocorriente). Cuando un fotón, cuya energía sea mayor o igual a la energía de gap del semiconductor, incide puede entregar su energía a un electrón y excitarlo desde la banda de valencia a la de conducción, creando pares electrón-hueco (fotoportadores).

Será entonces cuando dichos pares serán separados por el campo presente y se generará una corriente proporcional a la potencia óptica recibida.

Un parámetro muy importante de un fotodiodo es su eficiencia cuántica que depende del gap del material, del dopaje y del espesor de las zonas P, N e I del dispositivo. Se define la eficiencia cuántica η como la relación entre el número de pares electrón-hueco generados r_e y el número de fotones de energía $h\nu$ incidentes r_p :

$$\eta = \frac{r_e}{r_p} = \frac{I_p/q}{P_0/h\nu} = \frac{I_p h\nu}{qP_0} \quad (2.7)$$

donde I_p es la fotocorriente generada, q la carga de un electrón y P_0 el valor medio de la potencia óptica incidente.

Los valores reales de η van del 70% al 90%, es decir 100 fotones crean entre 70 y 90 pares electrón-hueco. Este valor es menor a la unidad debido a las corrientes de fuga, la absorción de la luz y las imperfecciones del dispositivo. La responsividad \mathfrak{R} de un fotodiodo se define como la relación entre la fotocorriente y la potencia óptica incidente, esto es:

$$\mathfrak{R} = \frac{I_p}{P_0} = \frac{\eta q}{h\nu} (A/W) \quad (2.8)$$

En la mayoría de fotodiodos, η es independiente de la potencia óptica incidente y, por consiguiente, la responsividad es una función lineal de P_0 y la fotocorriente I_p es directamente proporcional a P_0 .

Fotodiodos APD

El fotodiodo APD tiene una estructura más sofisticada que el PIN y su característica básica es que multiplica la fotocorriente producida sin necesidad de amplificador. Con ello, se aumenta la sensibilidad del receptor ya que la multiplicación de la fotocorriente se produce antes de que se vea afectada por el ruido térmico del circuito receptor. Además, se alcanzan corrientes de salida de varios órdenes de magnitud por encima de los fotodiodos PIN, utilizando materiales sin defectos para asegurar la uniformidad de la multiplicación de portadores sobre toda el área fotosensible. No obstante, suelen ser dispositivos mucho más caros que precisan del uso de fuentes de alta tensión (en torno a 100 voltios), lo cual aumenta mucho más el coste y el ruido en general.

Para que tenga lugar dicha multiplicación, los fotoportadores deben atravesar una región con altísimo campo eléctrico donde adquieren la energía suficiente para excitar otros pares electrón-hueco. Este mecanismo se conoce como ionización por impacto y es el fenómeno que se da en cualquier diodo polarizado en inversa, también conocido como ruptura por avalancha. Los nuevos portadores también son acelerados por el alto campo eléctrico y el proceso se repite (efecto de avalancha). Por debajo de la tensión de ruptura del diodo se crea un número finito de portadores, por encima de él, este número puede diverger.

El factor de multiplicación o ganancia (M) es una medida de la ganancia interna del APD, y se define como la relación:

$$M = \frac{I_M}{I_p} = \frac{1}{1 - \left(\frac{V_{inv}}{V_{break}}\right)^\gamma} \quad (2.9)$$

donde I_M es el valor medio de la corriente de salida total (multiplicada), I_p la fotocorriente primaria (no multiplicada, al igual que en un PIN), V_{inv} es la tensión inversa y V_{break} es la tensión de rotura del dispositivo.

Al igual que en el caso de los fotodiodos PIN las prestaciones de un APD se caracterizan por su responsividad R que está dada por:

$$\mathfrak{R}_{APD} = \frac{\eta q}{h\nu} M = \mathfrak{R}_0 M(A/W) \quad (2.10)$$

siendo \mathfrak{R}_0 la responsividad para la ganancia unidad e igual a la obtenida con un fotodiodo PIN.

2.1.3. Estructuras receptoras

La configuración típica de una estructura receptora está formada por tres elementos principales: un fotodetector que recibe la señal procedente del canal, un amplificador que se encarga de acondicionar el nivel de la señal recibida para su posterior tratamiento y, en ciertos casos, un ecualizador que ajusta la respuesta en frecuencia de las dos etapas anteriores para adecuar la señal para etapas electrónicas posteriores. Cabe destacar que tanto la sensibilidad como el ancho de banda del receptor vienen determinados por las fuentes de ruido presentes a la entrada. Por esta razón, se da especial énfasis al desarrollo de etapas de pre-amplificación que tengan bajo ruido y que permitan aprovechar al máximo las características de los detectores. En general, pueden distinguirse dos categorías:

- **Estructura con resistencia de carga.** Esta técnica es muy simple y consiste en usar una resistencia para obtener una tensión proporcional a la corriente generada por el fotodetector, de forma que luego esta tensión es amplificada a posteriori. En la Figura 2.5 se puede ver el modelo de esta estructura. El ancho de banda proporcionado viene determinado por la red RC que conforma la estructura y se puede definir como:

$$BW = \frac{1}{2\pi R_L C_T} \quad (2.11)$$

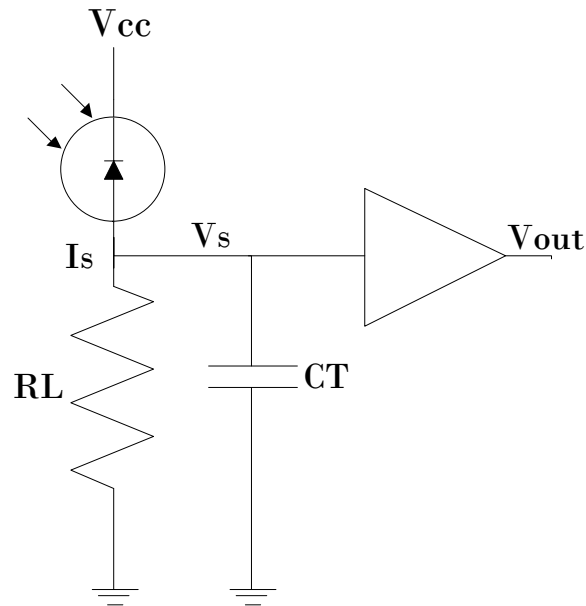


Figura 2.5: Estructura con resistencia de carga.

donde R_L es la resistencia de carga y C_T es la suma de capacidades del amplificador y el fotoreceptor. La elección de la resistencia de carga R_L es muy importante, ya que afecta tanto a la respuesta en frecuencia como al comportamiento del ruido, y dependerá de la aplicación que estemos desarrollando. Dependiendo del valor de R_L podemos tener dos casos:

1. **Baja impedancia.** En este caso se usa una impedancia de entrada baja (50Ω) para realizar la conversión de la señal. El principal problema es que la sensibilidad no es muy buena dado que no se minimizan las fuentes de ruido del amplificador.
 2. **Alta impedancia.** En este caso se busca minimizar todas las fuentes de ruido posibles, para ello se escoge una resistencia R_L que minimiza el ruido térmico a la entrada, así como capacidades de los dispositivo muy bajas. La desventaja de estos diseños es que la alta impedancia a la entrada limita la respuesta en frecuencia del amplificador, es decir, el ancho de banda disponible. Cabe destacar que este tipo de estructuras son las de más bajo ruido aunque no son útiles para aplicaciones de ancho de banda amplio o en las que se requiera un rango dinámico grande.
- **Amplificador de transimpedancia.** En esta caso se coloca una resistencia R_f en la etapa de ganancia del amplificador y una capacidad C_f para estabilizar la estructura, tal como se ve en la Figura 2.6.

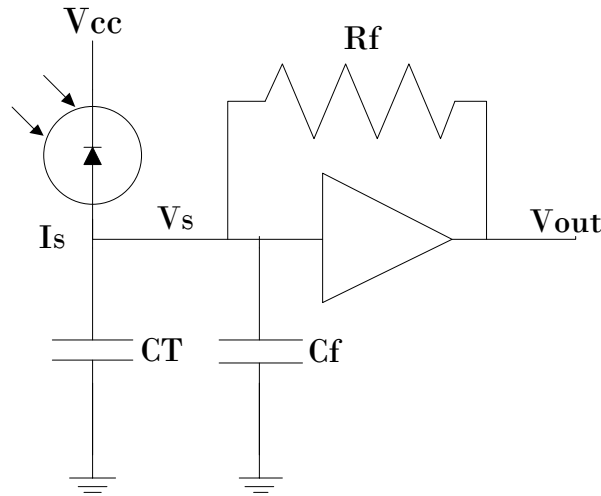


Figura 2.6: Amplificador de transimpedancia.

La resistencia R_f puede tomar un valor elevado, ya que su colocación reduce la resistencia efectiva vista por el fotodiodo en un factor $(1+A)$ siendo A la ganancia en lazo abierto que nos proporciona nuestro amplificador.

Este tipo de estructuras son muy populares ya que eliminan los problemas de rango dinámico que surgen en los diseños de alta impedancia y proporcionan un compromiso entre el ancho de banda de las estructuras de baja impedancia y el bajo ruido de las estructuras de alta impedancia.

2.1.4. Canal óptico submarino

En UWOC ocurren varios fenómenos físicos producidos por la interacción luz-materia que son de interés para el estudio de la propagación submarina de la luz. Existen efectos que influyen directamente sobre la potencia óptica de la señal, otros que afectan a la dirección de propagación y otros que afectan a su polarización. De forma general, estos efectos vienen definidos por diferentes parámetros tales como la salinidad, temperatura y concentración de materia orgánica e inorgánica disuelta, partículas y organismos.

Una de las principales características del canal submarino en lo que respecta a su respuesta en longitud de onda es su bajo tiempo de coherencia, es decir, los intervalos donde el canal puede ser considerado cuasi-estacionario son muy reducidos. Esto hace que las aproximaciones de canal lineal y temporalmente invariante no sean válidas a priori, como se demuestra en [14]. Cabe destacar que esto no es igual en todo el océano, ya que solo ocurre en zonas donde se producen cambios drásticos de temperatura y salinidad y se concentran grandes cantidades de partículas marinas. En otras zonas como el fondo marino, esta afirmación no sería cierta, ya que en ese caso la temperatura es uniforme y no existe apenas movimiento, por lo que el canal sí podría considerarse cuasi-estacionario.

Por otro lado, la interacción entre la luz, las moléculas de agua y las partículas submarinas da lugar a dos efectos dependientes de la longitud de onda que implican una atenuación de la señal óptica: dispersión espacial (scattering) y absorción de energía. La principal causa de la absorción de la luz en el agua es la excitación del estado de vibración de las moléculas de agua por los fotones y otras partículas disueltas. Por otro lado, la dispersión de la luz se refiere a procesos en los que se cambia la dirección del fotón y puede tener lugar tanto en las moléculas o en partículas disueltas. De esta manera, los fenómenos de absorción y scattering son utilizados para caracterizar el coeficiente de extinción a una longitud de onda determinada:

$$c(\lambda) = \alpha(\lambda) + \beta(\lambda) \quad (2.12)$$

donde $\alpha(\lambda)$ representa el coeficiente de absorción y $\beta(\lambda)$ representa el coeficiente de dispersión total. La Tabla 2.1 muestra valores del coeficiente de extinción para diferentes tipos de agua de mar referidas a las longitudes de onda del azul y el verde.

Tipo de agua	$\alpha(m^{-1})$	$\beta(m^{-1})$	$c(m^{-1})$
Agua de mar pura	0.0405	0.0025	0.043
Agua oceánica limpia	0.114	0.037	0.151
Agua costera	0.179	0.219	0.298
Agua turbia	0.266	1.824	2.19

Tabla 2.1: Absorción, scattering y coeficiente de extinción para diferentes tipos de agua.

Tanto la calidad del agua como la concentración de materia orgánica disuelta varía considerablemente en función de la región geográfica en la que nos encontremos. De forma general, se consideran cuatro tipos de agua [15]:

- **Agua de mar pura.** El factor crítico es la absorción, debido a la baja densidad de partículas dispersivas.
- **Aguas oceánicas limpias.** La concentración de partículas disueltas es mayor, por tanto, el efecto dispersivo es mayor.
- **Aguas costeras.** Este tipo de agua presenta una gran cantidad de materia orgánica, de forma que afectan tanto los efectos de absorción como de scattering.
- **Aguas turbias.** Este tipo de agua presenta una concentración muy elevada de materia orgánica.

Para calcular la potencia necesaria en un enlace submarino apuntado podemos emplear la Ecuación 2.13.

$$P_{tx} = \frac{S \cdot d^2}{A_{eff} \cdot e^{-c \cdot d} \cdot R(\theta, n)} \quad (2.13)$$

donde S es la sensibilidad del receptor, A_{eff} es el área de recepción, d es la distancia del enlace, $R(\theta, n)$ es un factor que depende del tipo de fuente y su apuntamiento y $e^{-c \cdot d}$ es un factor que añade el efecto de los fenómenos de extinción que se producen en el entorno submarino.

Absorción

El proceso de absorción envuelve la conversión de energía electromagnética en otras formas de energía tales como calor o energía química, y es producido por la interacción de la luz con numerosos elementos tales como algas, partículas en suspensión de materia orgánica e inorgánica y componentes orgánicos disueltos (comúnmente llamado sustancia amarilla).

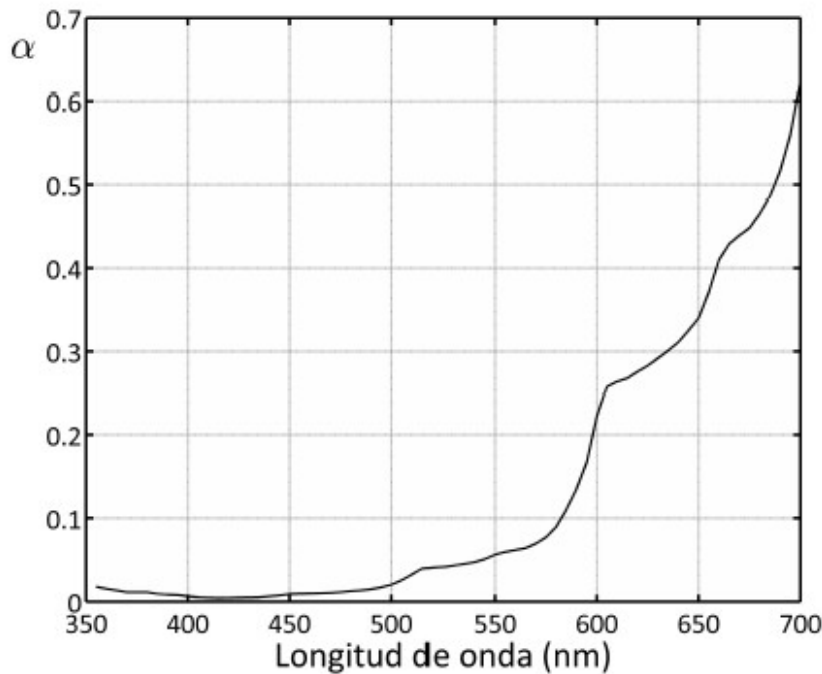


Figura 2.7: Variación de la absorción.

El modelo de absorción está basado en la concentración de clorofila y dos componentes de la sustancia amarilla: ácidos fúlvicos y húmicos. La división de la sustancia amarilla en dos componentes está justificada por dos razones: primero, hace que el modelo sea universal para toda el agua orgánicamente estable y, segundo, permite que los modelos en el futuro puedan incluir los efectos de la fluorescencia de materia orgánica disuelta (DOM - Dissolved Organic Matter) de una manera más consistente. El coeficiente de absorción $\alpha(\lambda)$ en el agua de mar se puede definir de la siguiente manera [16]:

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_c^0(\lambda) \left(\frac{C_c}{C_c^0}\right)^{0.602} + a_f^0 C_f e^{-k_f \lambda} + a_h^0 C_h e^{-k_h \lambda} \quad (2.14)$$

Como se puede observar, la expresión anterior depende de diversos parámetros que a su vez dependen de la longitud de onda que se este utilizando. Para simplificar el cálculo del coeficiente de absorción, sus valores se encuentran ya tabulados en función de la longitud de onda [17]. En la Figura 2.7 se puede observar la curva de absorción característica en el entorno submarino, que nos da una idea de las regiones de trabajo idóneas para las comunicaciones ópticas submarinas.

Puede observarse que existe un mínimo de absorción en la región azul-verde (450 nm - 500 nm) del espectro visible, lo que la convierte en una región ideal para la transmisión con señales ópticas. Por otro lado, las longitudes de onda infrarroja y ultravioleta se ven atenuadas por factores muy elevados, de manera que la transmisión en estas ventanas queda desestimada a priori.

Scattering

El proceso de dispersión implica el cambio de dirección en la propagación de los rayos de luz por la interacción de esta con las partículas suspendidas y el plancton, siendo su efecto más importante con la turbidez del agua. El proceso de dispersión que sufren las señales ópticas se puede evaluar por la teoría de Mie. En contraste con el scattering de Rayleigh, que es válido en regiones donde la longitud de onda es mucho mayor que el tamaño de las partículas de dispersión, la solución de Mie para el problema de dispersión es rigurosamente válida para todas las posibles relaciones de diámetro de partícula y longitud de onda, y completamente válida para regiones donde la longitud de onda es comparable al tamaño de las partículas.

De acuerdo con la teoría de Mie, cuando la longitud de onda de la luz es similar al diámetro de partícula, la luz interactúa con la partícula sobre un área de la sección transversal mayor que la sección transversal geométrica de la partícula. La teoría de Mie proporciona la dispersión de la sección transversal C_{sca} , definido como la energía total dispersada por una partícula en todas las direcciones,

$$C_{sca} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi I_{sca} r^2 \sin\phi d\phi d\theta}{I_0} \quad (2.15)$$

donde I_{sca} es la intensidad de la luz dispersada, I_0 es la intensidad de la luz incidente, y r es el radio de la partícula. La integración se realiza sobre toda la superficie de la esfera.

Por otro lado, la atenuación debida a la dispersión óptica se puede expresar empleando la siguiente ecuación:

$$\frac{dI}{dx} = -\zeta I \quad (2.16)$$

donde I es la intensidad de la luz, y ζ es la turbidez en el agua de mar causada por la suspensión de partículas. Esta turbidez proporciona una indicación de la claridad del agua de mar y se mide usando las unidades de turbidez nefelométricas (NTU -

Nephelometric Turbidity Unit). La solución de la ecuación diferencial ordinaria anterior a una solución de este tipo:

$$I_d = I_0 e^{-\zeta d} \quad (2.17)$$

donde I_d es la intensidad a la distancia d a través del medio con múltiples dispersores, e I_0 es la intensidad de la luz incidente.

La medida de la contribución de los dispersores individuales a la dispersión total es a través de la turbidez. Para el caso más simple de todos los dispersores que poseen el mismo tamaño, existe una relación simple:

$$\zeta = NC_{sca} \quad (2.18)$$

donde N es el número de partículas en unidad de volumen, y C_{sca} es la sección eficaz de dispersión de una partícula individual. Para un caso más complicado con múltiples elementos que producen dispersión, si los tamaños de las partículas no son los mismos, la turbidez tendrá una relación con partículas de dispersión individuales tal como:

$$\zeta = \int C_{sca} p(x) dx \quad (2.19)$$

donde x es el diámetro de partícula, $C_{sca}(x)$ es la sección eficaz de dispersión para las partículas con diámetro x , y $p(x)$ es la función de distribución de probabilidad de tamaño de partícula. En cierta forma, este resultado puede interpretarse como la esperanza matemática de interferir con la sección transversal de la partícula y producir dispersión.

Sobre la base de la teoría de dispersión de Mie, se puede estimar con gran precisión la intensidad de la luz cuando se utiliza como vehículo para las comunicaciones submarinas. Aparentemente, el conocimiento exacto de la turbidez del agua es el primer requisito para estimar el rango de la comunicación con el uso de la teoría de Mie, ya que nos permite conocer cuanta energía es absorbida por las partículas causantes de la dispersión y cuanta es transmitida.

Índice de refracción

El índice de refracción es la relación entre la velocidad de propagación de la luz en el medio respecto de la velocidad de la luz en el vacío, y hace referencia a la oposición que ejerce el medio a la propagación de la energía. Concretamente, el índice de refracción del mar ha sido estudiado en profundidad, y varía con la longitud de onda (λ), la salinidad (S) y la temperatura (T). Una posible expresión de este parámetro viene determinada en [18] y se puede ver a continuación:

$$n(S, T, \lambda) = n_0 + (n_1 + n_2 T + n_3 T^2) S + n_4 T^2 + \frac{n_5 + n_6 S + n_7 T}{\lambda} + \frac{n_8}{\lambda^2} + \frac{n_9}{\lambda^3} \quad (2.20)$$

donde S es la salinidad en partes por mil, T es la temperatura en grados Celsius y λ es la longitud de onda en nanómetros. Los valores de los coeficientes (n_1, \dots, n_9) se pueden consultar en [18].

A partir del índice de refracción se puede definir la velocidad de propagación de la luz para unas condiciones del medio determinadas y una longitud de onda de propagación, tal y como se ve a continuación:

$$v = \frac{c_0}{n(\lambda, S, T)} \quad (2.21)$$

dónde c_0 es la velocidad de propagación de la luz en el vacío y $n(S, T, \lambda)$ es el índice de refracción expresado en la Ecuación 2.20.

El índice de refracción del agua influye en varios aspectos de los sistemas UWOC. Debido a que varía con la longitud de onda, produce dispersión cromática, lo que quiere decir que la señal que llega al receptor óptico tiene un retardo diferente para cada longitud de onda. Este retardo se puede modelar de la siguiente manera:

$$\tau(\lambda) = \frac{d}{v} = \frac{n(\lambda, S, T) \cdot d}{c_0} \quad (2.22)$$

Cabe destacar que este fenómeno solo afectaría en caso de utilizar fuentes de tipo WLED (White LED) y en enlaces con distancias de transmisión mayores de 5-6 metros.

2.1.5. Fuentes de ruido

Junto con las especificaciones de ancho de banda, el ruido en un enlace óptico no guiado es un factor crítico para determinar las prestaciones del sistema. Como en todos los enlaces de comunicaciones, la determinación de las fuentes de ruido a la entrada del receptor es necesaria, ya que es en este punto donde la potencia de la señal entrante es mínima. Las dos principales fuentes de ruido en el *front end* del receptor se deben al ruido térmico del propio receptor y al ruido *shot* de la fotocorriente generada.

El ruido térmico se genera, principalmente, por los elementos resistivos presentes en el preamplificador. La Figura 2.8 muestra el circuito equivalente del receptor para el análisis de ruido. El ruido térmico se genera independientemente de la señal recibida y puede ser modelado como una fuente de ruido gaussiano donde su varianza viene determinada por la siguiente expresión:

$$\overline{\sigma_{circ}^2} = \frac{4kT}{R_{in}} (A^2/Hz) \quad (2.23)$$

donde k es la constante de Boltzmann, T la temperatura absoluta y R_{in} la resistencia del preamplificador. En principio se puede reducir utilizando una resistencia mayor, pero entonces se han de considerar las especificaciones de ancho de banda del

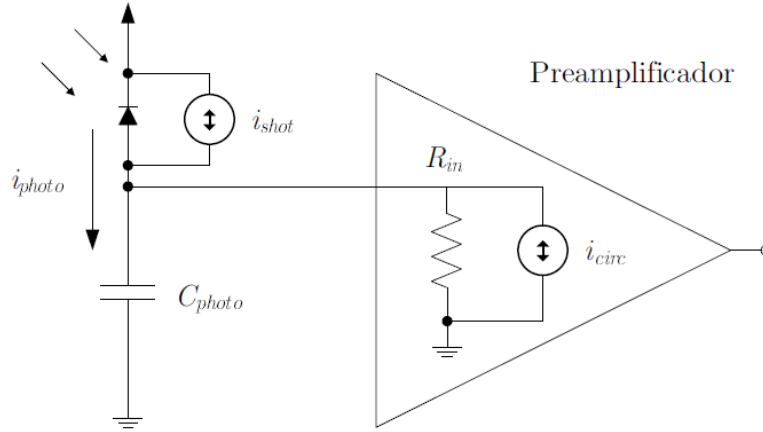


Figura 2.8: Diagrama del receptor para el análisis de ruido.

receptor. En este caso debe elegirse una solución de compromiso como, por ejemplo, un preamplificador de transimpedancia.

Comúnmente, el ruido *shot* es la mayor fuente de ruido existente en los sistemas de comunicaciones ópticas no guiadas. Los fotones generados por las fuentes de iluminación existentes en el canal provocan la generación aleatoria de portadores siguiendo una distribución de Poisson, lo que se traduce en la aparición de una corriente continua en los detectores. Sin embargo, debido a la alta intensidad de esta fuente de ruido y considerando el teorema central del límite, normalmente se modela como un proceso gaussiano independiente con varianza:

$$\overline{\sigma_{shot}^2} = 2qI_p (A^2/Hz) \quad (2.24)$$

donde q es la carga del electrón e I_p es la fotocorriente [19].

Teniendo en cuenta lo anterior, la relación señal a ruido (SNR - Signal to Noise Ratio) de un enlace de comunicaciones ópticas submarinas no guiadas puede aproximarse mediante el siguiente ejemplo. Supongamos que tenemos una señal con una cierta potencia P_{trans} y consideramos que dicha señal únicamente se atenúa en su paso por el canal. La potencia eléctrica en el receptor se puede definir como el cuadrado de la fotocorriente (I_p) recibida en el fotodetector. A su vez, esta corriente se puede obtener a partir de la potencia de transmisión ponderada por las pérdidas del canal (L) y la responsividad (\mathfrak{R}) del fotodetector tal como se ve en la expresión 2.25.

$$P_{received} \approx I_p^2 \approx \left(\frac{P_{trans} \mathfrak{R}(\lambda)}{L} \right)^2 (A^2) \quad (2.25)$$

Por otro lado, el ruido *shot* se genera no sólo por la iluminación de fondo sino también por la propia señal transmitida. Además, debido a que tanto el ruido térmico del preamplificador, i_{circ}^2 , como el ruido *shot*, i_{shot}^2 , están incorrelados, estos pueden

sumarse para obtener la potencia total de ruido:

$$P_{noise} = \overline{i_{circ}^2} + \overline{i_{shot}^2} = \left[\frac{4kT}{R_{in}} + 2q\mathfrak{R}I_p \right] B_{eff} \quad (A^2) \quad (2.26)$$

donde q es la carga del electrón y B_{eff} es el ancho de banda de ruido equivalente del sistema. Combinando los resultados previos, se obtiene la expresión final:

$$SNR = \frac{P_{received}}{P_{noise}} = \frac{\left(\frac{P_{trans}\mathfrak{R}(\lambda)}{L} \right)^2}{\left[\frac{4kT}{R_{in}} + 2q\mathfrak{R}I_p \right] B_{eff}} \quad (2.27)$$

Cabe destacar que existen otros tipos de ruido que pueden afectar a la recepción de la señal, tales como el ruido de *background* y el ruido debido a la corriente de oscuridad, aunque su efecto en la señal es mucho menor. Es por ello que no han sido considerados en el estudio de la relación SNR realizada anteriormente.

2.2. Modelado del canal submarino

Para aprovechar las ventajas significativas que tienen las comunicaciones ópticas sobre otras alternativas como la radiación electromagnética o los ultrasonidos, es necesario estudiar y modelar como se comportan y propagan en el medio submarino. El principal objetivo de este modelado, consiste en describir el estado de la luz mientras viaja a través del canal. Tradicionalmente se ha considerado en la literatura tres modelos diferentes [20] para obtener un comportamiento del canal submarino: *Propiedades ópticas inherentes* (IOP), *Ecuación de transferencia de radiación* (RTE) y soluciones numéricas de la RTE. En los siguientes apartados se describirá en detalle cada una de las soluciones, así como las ventajas e inconvenientes que presentan.

2.2.1. Propiedades ópticas inherentes

Este es el esquema de modelado más básico y se basa en incluir las pérdidas debidas a los fenómenos clásicos de absorción y scattering vistos en la Sección 2.1.4. A pesar de ser un modelo muy sencillo, no es capaz de predecir la dispersión temporal y espacial y, además, no considera información acerca de la configuración del sistema como por ejemplo el FOV (Field-Of-View) del receptor y transmisor. Por esta razón, este modelo es utilizado como base para otros modelos más complejos.

2.2.2. Ecuación de transferencia de radiación

Esta ecuación describe la conservación de la energía en una onda electromagnética que se mueve a través de un medio. La podemos encontrar en forma escalar y vectorial

y su propósito principal es proporcionar un modelo de la dispersión temporal y la polarización de la luz. Su expresión se puede ver en la Ecuación 2.28.

$$\left[\frac{1}{v} \frac{\partial}{\partial t} + n \cdot \nabla \right] I(t, r, n) = \int_{4\pi} \beta(r, n, n') I(r, n, n') dn' - cI(t, r, n) + E(t, r, n) \quad (2.28)$$

El término de la izquierda representa un cambio de energía a través de una distancia, mientras que el término de la derecha representa la energía de las fuentes menos las pérdidas causadas por la atenuación (segundo y tercer término). Por otro lado, el primer término que representa las contribuciones de fotones que han sido desviados del haz principal de luz (scattering). Viendo esto, parece claro que este término es crucial para determinar la dispersión temporal en el enlace de comunicaciones.

Puesto que la RTE es una expresión integro-diferencial con muchas variables, obtener soluciones exactas es muy complejo (incluso en la situación más simple). A pesar de esto, este modelo da más información que el IOP ya que proporciona la distribución radial de la luz en una determinada parte del receptor.

2.2.3. Soluciones numéricas de la RTE

El proceso de búsqueda de soluciones numéricas de la RTE es una tarea bastante compleja (al igual que las soluciones exactas). En [21] se presentan las tres opciones más populares para la obtención de soluciones numéricas de la RTE: Monte Carlo, *discrete ordinates* e *invariant imbedding*. Las principales diferencias entre estos métodos son las técnicas matemáticas empleadas, las condiciones de contorno definidas y el tiempo de simulación. A continuación se describe en detalle cada uno de los métodos:

1. **Monte Carlo.** Esta es una técnica probabilística y lo que hace es buscar una solución enviando un solo fotón en un instante determinado a través de un medio. Este proceso se realiza para millones de fotones hasta que se genera una estimación de la distribución espacial y temporal de la fuente. Cabe destacar que los medios complejos y sus geometrías son sencillas de programar en el modelo. El único inconveniente es el tiempo de simulación y que, al ser el único método estadístico, está sujeto a errores estadísticos que se puedan producir en la predicción de resultados. Esto se puede reducirse empleando un mayor número de fotones, a costa de aumentar el tiempo de simulación.
2. **Discrete ordinates.** Esta técnica calcula una solución para la RTE considerando el medio con una serie de capas homogéneas. Cada una de las capas se divide en un número finito de ángulos sólidos y en cada uno de ellos se resuelve la RTE. La siguiente capa usará dichas soluciones como condiciones de contorno para el siguiente conjunto de resultados a obtener. La principal desventaja de esta técnica es que exige un conocimiento matemático elevado y es bastante compleja de programar.
3. **Invariant imbedding.** Esta es una técnica basada en una estimación analítica. Básicamente, crea un modelo convirtiendo la RTE (un problema de contorno de

dos puntos) en una ecuación diferencial regular con una condición inicial. Por dicha razón sólo es capaz de resolver problemas unidimensionales. Al igual que la solución anterior, exige un conocimiento matemático elevado y es bastante compleja de programar.

A pesar de existir diferentes modelos, se ha llegado a la conclusión de que las soluciones numéricas de la RTE ofrecen la mejor descripción de la situación de un haz de luz más a lo largo del canal mediante la inclusión de las distribuciones temporales y espaciales de la luz, así como la polarización. De los tres esquemas numéricos explorados presentados, Monte Carlo ha demostrado ser el más versátil aunque se ve comprometido por los amplios tiempos de ejecución y los errores estadísticos generados principalmente por la presencia de turbulencias. Otros modelos como IOP han demostrado ser adecuados para enlaces de comunicación en los que no se requiera la información temporal, como un enlace a larga distancia dónde la dispersión es mínima.

Capítulo 3

Diseño del sistema

En este capítulo se recoge el montaje del sistema que nos permitirá realizar medidas bajo diferentes condiciones del medio y obtener los distintos parámetros del canal. Para ello, se comenzará explicando la estructura general del sistema y los aspectos más relevantes y luego se detallará como se ha desarrollado cada una de las partes que lo conforman. Por último, se explicará el desarrollo de la interfaz de control del sistema que permite realizar la toma y almacenamiento de las medidas.

3.1. Estructura general

La estructura general del sistema que se pretende implementar se puede observar en la Figura 3.1. Como se puede ver el sistema está formado un dispositivo transmisor que se encarga de emitir señal dentro del canal, un recipiente con agua y materia que hace la función de canal submarino y un receptor que se encarga de recibir la señal. Además, se emplea un PC como elemento de control del sistema encargado de realizar las tareas de recepción y emisión de señal así como el control las condiciones que hay dentro del canal.

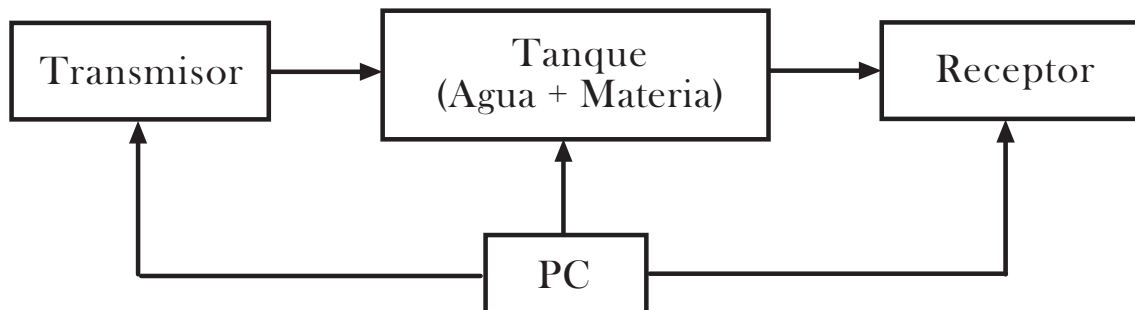


Figura 3.1: Estructura general del sistema de medidas.

En los sucesivos apartados se explicará en detalle el diseño de cada una de las partes del sistema.

3.1.1. Diseño del transmisor y el receptor

La estructura del transmisor está compuesta por dos bloques principales: un driver de transmisión óptico controlable en potencia y la fuente encargada de alimentar dicho dispositivo. Este driver funciona con dos longitudes de onda, rojo y azul, siendo el verde desestimado por su baja eficiencia energética en el medio submarino. A su vez, el receptor está formado por dos bloques más que se corresponden con un driver de recepción de tipo transimpedancia y un dispositivo ADC (Analog-to-Digital Converter) que se encarga de recibir la señal analógica del receptor y convertirla a formato digital. La estructura de ambos dispositivos se puede observar en la Figura 3.2.

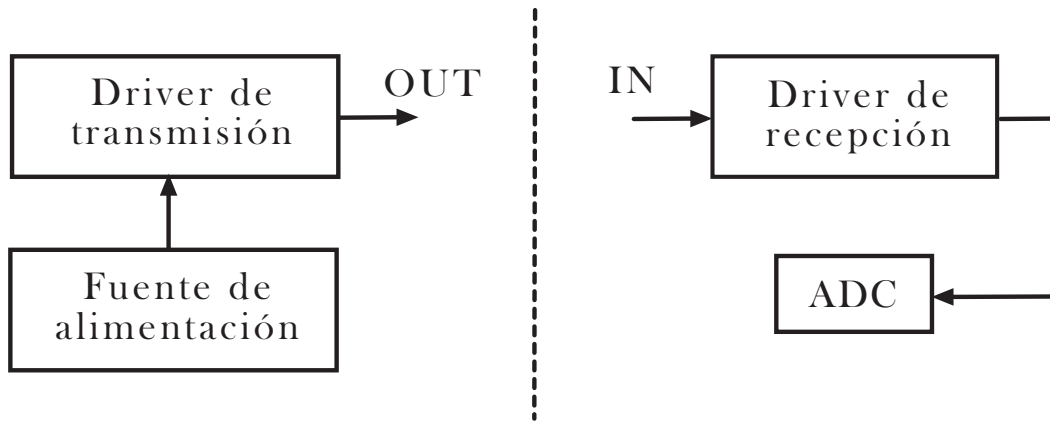


Figura 3.2: Esquema del transmisor y el receptor del sistema.

En nuestro caso se ha decidido utilizar un osciloscopio como ADC por su facilidad para la recepción y visualización de señales. En concreto se ha optado por usar el modelo Agilent MSO8104A Infinium. En cuanto a la fuente de alimentación para el driver de transmisión se ha elegido el modelo Yokogawa GS820. Las hojas de especificaciones de ambos equipos se pueden encontrar en el Apéndice A.

Driver de transmisión

Este elemento constituye la interfaz de comunicación óptica necesaria para la transmisión de señal dentro del canal. En la Figura 3.3 se puede observar el diseño inicial del circuito utilizado, donde se puede ver que las fuentes se han colocado mediante una estructura de M filas y N columnas. Concretamente se han empleado 4 filas y 4 columnas obteniendo un total de 16 fuentes de emisión, considerando que generan suficiente potencia óptica para realizar las medidas en el canal.

En cuanto a la fuente de transmisión se ha decidido emplear el modelo CLP6C-FKB, una fuente de tipo LED RGB que nos permite conseguir la potencia suficiente para realizar las medidas, evitando algunos de los problemas que presentan otro tipo de fuentes de emisión. Además, este tipo de fuente nos permite tener en un único dispositivo las dos longitudes de onda que queremos usar, rojo y azul. Sus especificaciones se pueden consultar en el Apéndice A.

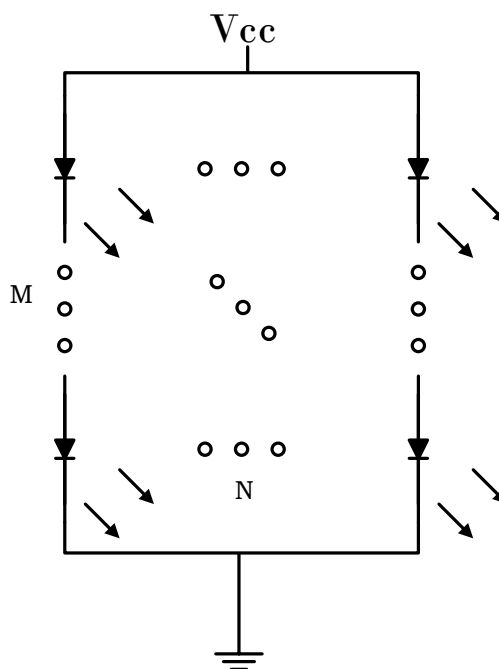


Figura 3.3: Esquema del driver de transmisión.

Para caracterizar completamente el driver de transmisión diseñado, se ha decidido realizar un procedimiento que permita obtener la eficiencia de transmisión del mismo para las dos longitudes de onda consideradas. Para ello, se ha seguido el siguiente procedimiento:

1. Medida de la potencia óptica generada por el driver para diferentes corrientes de alimentación del circuito y las longitudes de onda azul y roja. Para obtener esta potencia se ha empleado una esfera integradora, un elemento que permite realizar medidas de potencia óptica. Concretamente se ha utilizado el modelo GigaHertz Optik BTS256 LED cuyas especificaciones se pueden ver en el Apéndice A.
2. Obtención de la eficiencia de transmisión del driver para cada corriente y longitud de onda considerada empleando la Ecuación 3.1 que la define.

$$\eta_{\lambda} = \frac{P_{opt}}{I_D} \quad (W/A) \quad (3.1)$$

donde P_{opt} es la potencia óptica obtenida en el apartado anterior e I_D es la corriente de alimentación del circuito en cada caso.

A partir del procedimiento anterior, se han obtenido las curvas recogidas en la Figura 3.4 y que definen la potencia de transmisión para cada longitud de onda en función de la corriente.

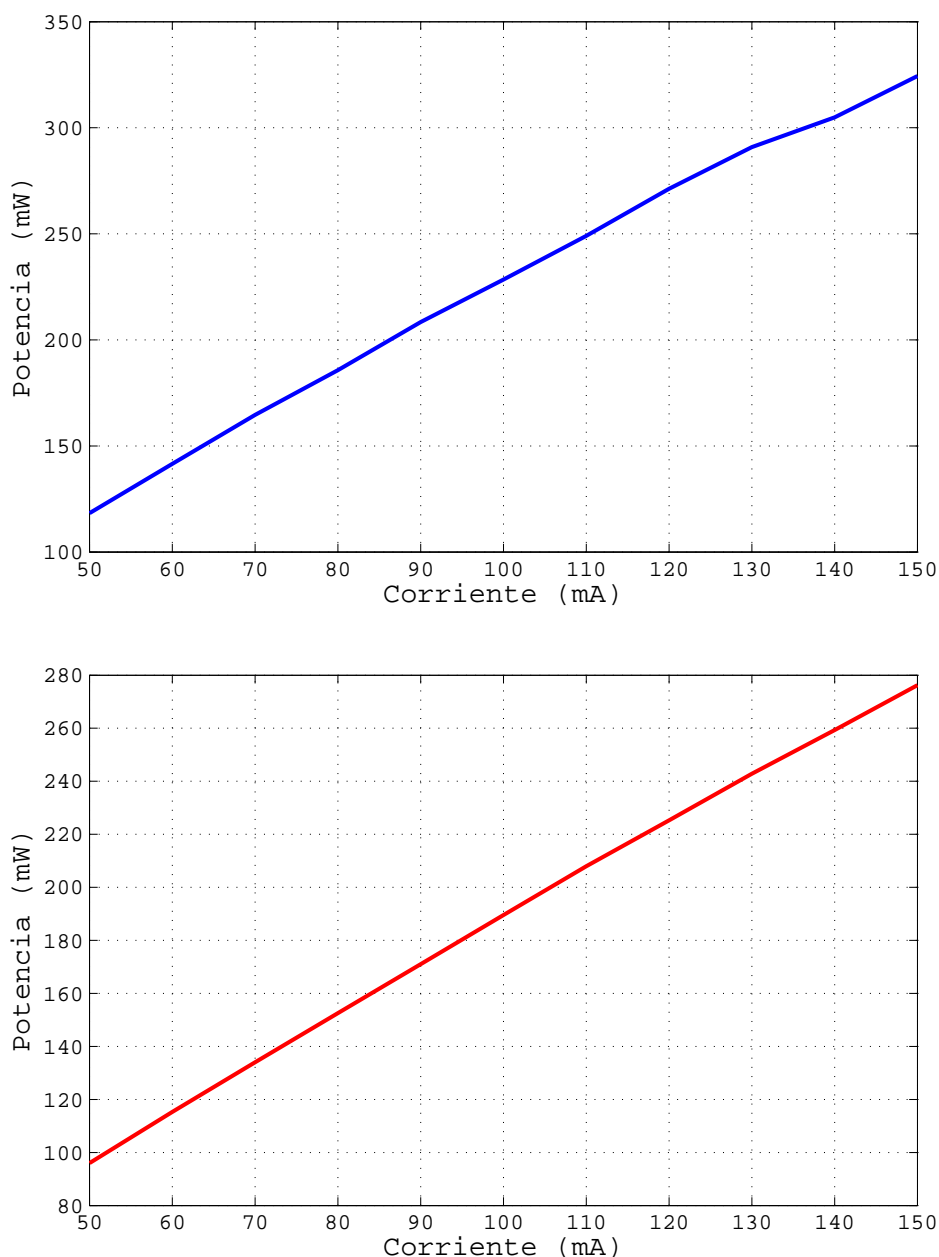


Figura 3.4: Potencias de transmisión para azul (arriba) y rojo (abajo).

Driver de recepción

Este elemento constituye la interfaz de comunicación óptica necesaria para la recepción de señal proveniente del canal. Para evitar la tarea de diseño, montaje y prueba de este dispositivo desde cero se ha decidido emplear un dispositivo ya fabricado, concretamente el modelo PDA36A de THORLABS cuyas especificaciones se pueden encontrar en el Apéndice A. Este dispositivo es un detector de silicio que además realiza la función de amplificación de la señal, permitiendo seleccionar la ganancia de salida mediante un *switch*. Para ello hace uso de un amplificador de transimpedancia, tal y como se puede observar en la Figura 3.5.

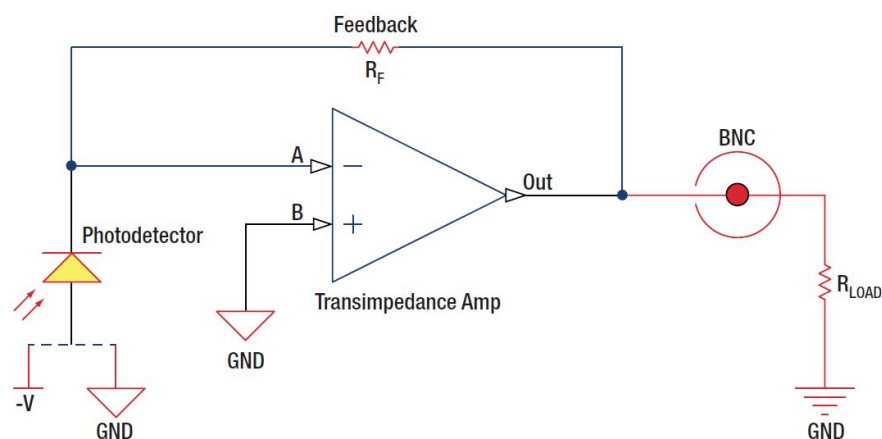


Figura 3.5: Esquema del driver de recepción.

3.1.2. Elección del recipiente

Este elemento constituye nuestro canal submarino teórico, mediante la inclusión de agua y materia orgánica en su interior. La estructura empleada para el montaje se puede ver en la Figura 3.6, donde se observa que tenemos por un lado el recipiente con agua y materia que nos servirá para realizar las medidas, un filtro para mantener limpio el agua del recipiente en los largos períodos de desuso del mismo y, por último, un agitador que permita remover el medio y dar movilidad a las partículas y la materia que haya en su interior.

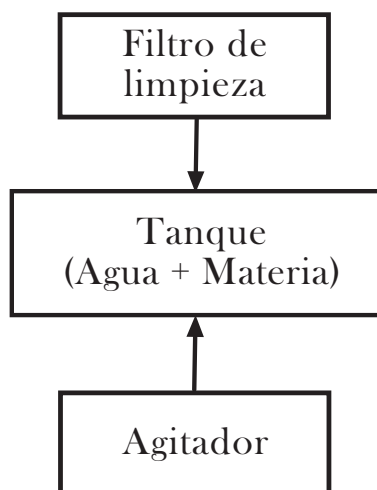


Figura 3.6: Esquema del recipiente.

Tras considerar varias opciones para fabricar el recipiente (cristal, metacrilato, etc) finalmente se decidió emplear un recipiente rectangular de vidrio. Además de la propia tapa de la que dispone el recipiente, se decidió forrar el interior del mismo con caucho de color negro mate con el principal objetivo de reducir las reflexiones que pudieran producirse en los cristales al realizar la transmisión de señal. En cuanto al dispositivo de filtrado del agua, se decidió emplear un filtro típico para limpieza de un acuario, concretamente el modelo PICKUP 200 de EHEIM cuyas especificaciones se pueden ver en el Apéndice A.

Agitador

Como ya se comentó anteriormente, el agitador nos permite remover el medio y dar movilidad a las partículas y la materia que haya en su interior, variando así el entorno en el que se hacen las medidas. Tras considerar varias opciones se decidió montar un sistema con tres bombas de agua colocadas en posiciones estratégicas del acuario, tal y como se ve en la Figura 3.7, de forma que se genere un movimiento del agua y, por consiguiente, de la materia. Cabe destacar que las bombas de agua utilizadas son el modelo Nova de SICCE cuyas especificaciones se pueden ver en el Apéndice A.

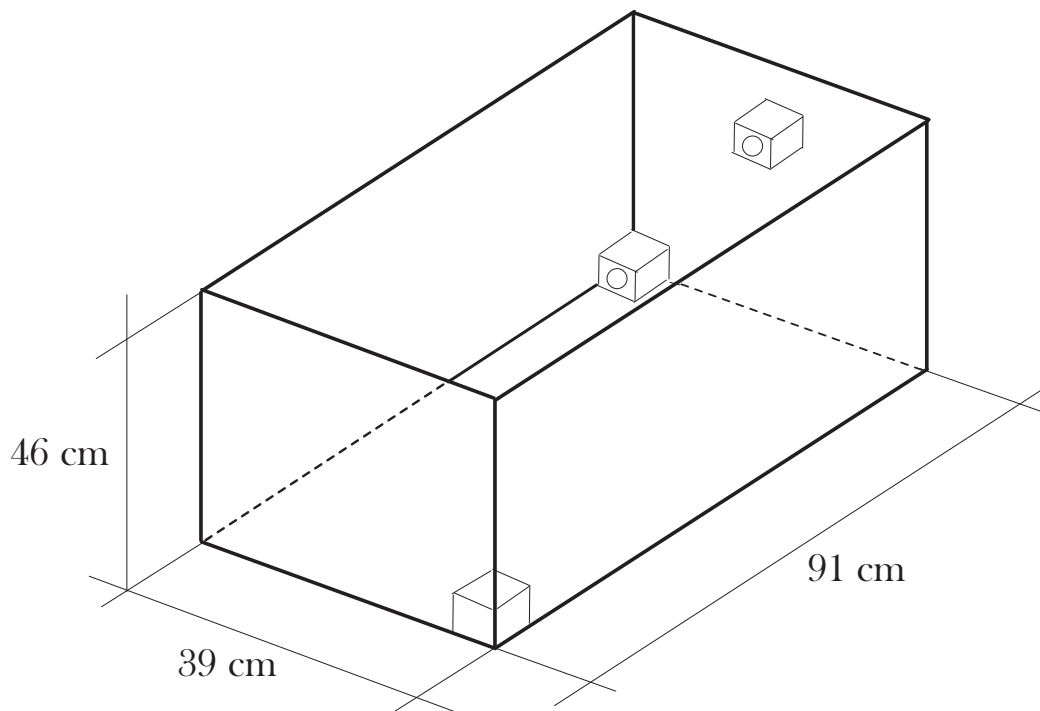


Figura 3.7: Dimensiones del recipiente y colocación de las bombas.

Para comprobar que el flujo de agua generado por las bombas produce el movimiento necesario en el medio, se decidió simular la situación empleando un simulador de fluidos, concretamente el simulador ANSYS junto con su extensión FLUENT que permite realizar simulaciones de fluidos configurando múltiples opciones dentro de la misma como por ejemplo el material del recipiente, el fluido que se va a utilizar o la velocidad del mismo. En primer lugar, se definió una estructura similar a la nuestra empleando las medidas reales y se generó el mallado con un número de elementos suficiente para obtener resultados precisos, tal y como se ve en la Figura 3.8. Una vez hecho esto, se definieron las entradas y salidas del fluido dentro de la estructura, así como el tipo de fluido (en nuestro caso agua) y la velocidad del mismo que fue estimada a partir de las especificaciones de las bombas empleadas, obteniéndose una velocidad aproximada de 0.8 m/s . Con todas las especificaciones definidas se lanzó una simulación de 2 segundos con un paso de 0.01, de manera que se pudiera observar con gran precisión como se generaba el flujo de agua dentro del recipiente. En la Figura 3.9 se muestra la velocidad del fluido dentro del recipiente para la situación final, observándose a priori que el flujo generado es suficiente para agitar el medio.

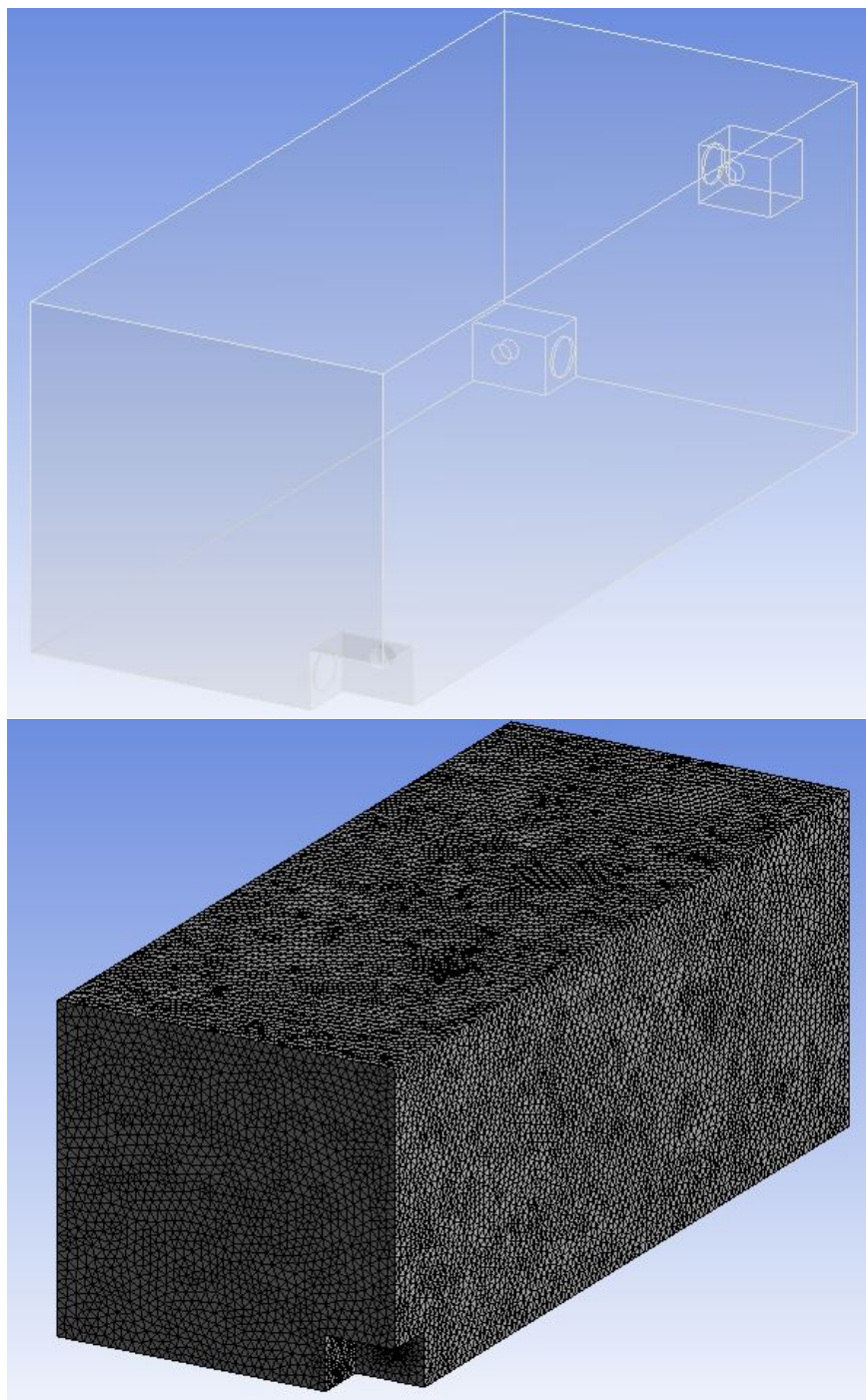


Figura 3.8: Geometría y mallado realizado en el simulador.

A pesar de que la simulación realizada corrobora nuestra teoría inicial, se decidió ir un paso más lejos y comprobar la velocidad en la línea de visión receptor-transmisor ya que es el lugar donde realmente la movilidad de las partículas puede afectar a las comunicaciones. Para ello, se exportaron los datos de velocidad obtenidos en la simulación y se obtuvo la media de velocidades en la línea de visión receptor-transmisor, teniendo en cuenta el radio real del receptor, obteniéndose una velocidad media de 1 cm/s , lo cual corrobora por segunda vez nuestra teoría de que la disposición de las bombas es la adecuada para la agitación del medio.

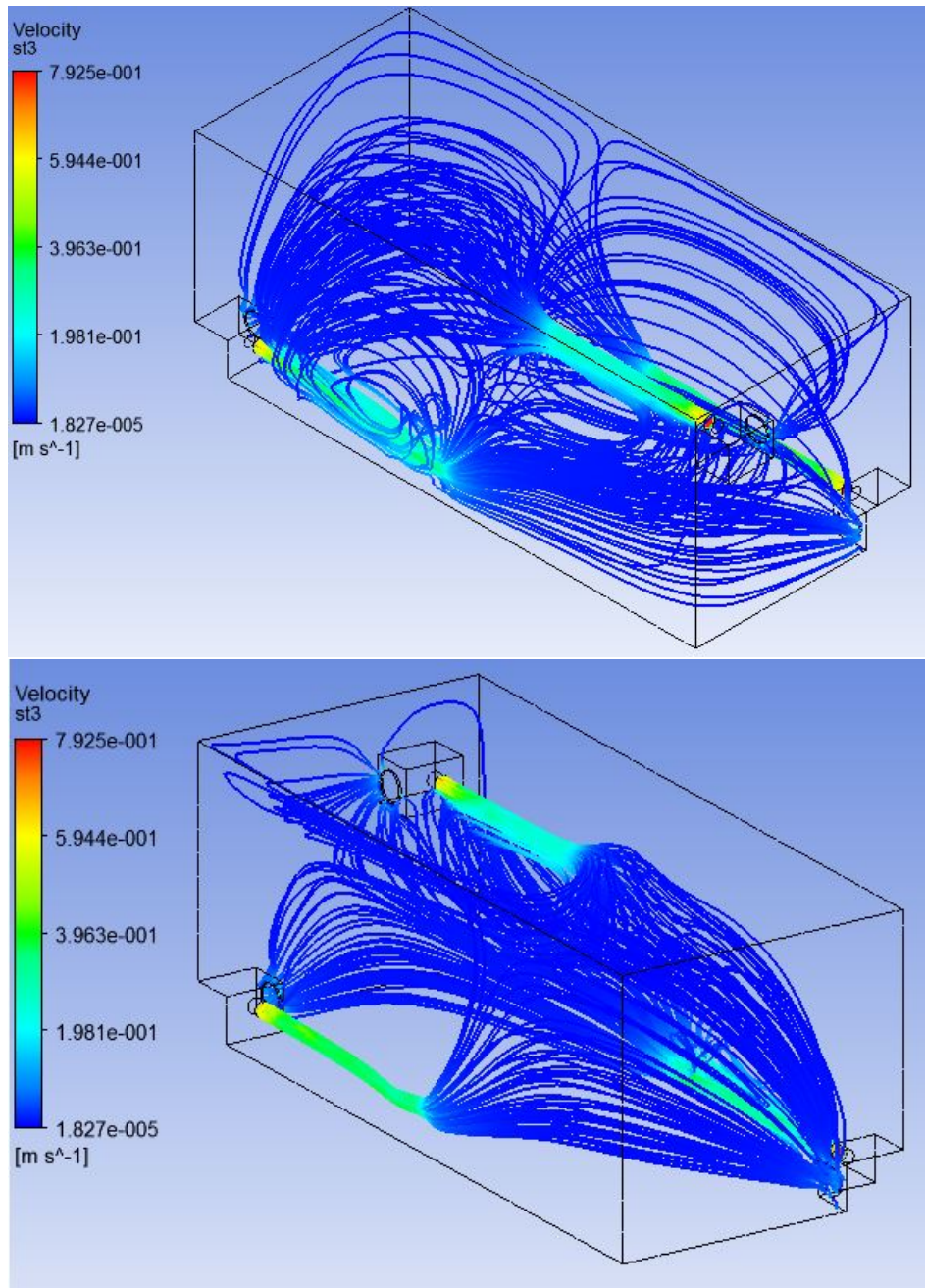


Figura 3.9: Velocidad del fluido simulada.

Para automatizar de forma completa el sistema se decidió que las bombas fueran controlables mediante una fuente de tensión cualquiera. El problema es que las bombas de agua elegidas funcionan con 220 VAC, lo cual impide su control directo empleando una fuente de alimentación determinada. Es por ello que se hizo necesario el uso de un relé capaz de trabajar en ese rango de tensiones que permitiera el paso de la misma a nuestra voluntad. En la Figura 3.10 se puede ver el circuito implementado para controlar las bombas, donde se observa que mediante los dos canales disponibles de la fuente de tensión activamos y desactivamos el relé, permitiendo o no el paso de corriente hacia la regleta. En este caso se emplearon la fuente de tensión Promax FA-851 y el relé ST1-DC12V de Matsuhita, cuyas especificaciones se pueden ver en el Apéndice A.

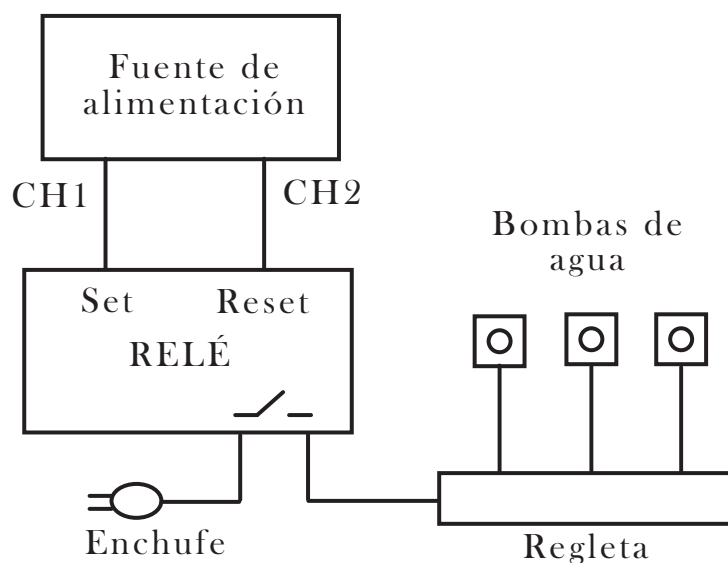


Figura 3.10: Circuito usado para la activación de las bombas.

3.2. Interfaz de control

Como ya se comentó al inicio del capítulo, para simplificar el sistema final se ha optado por emplear como controlador del mismo un PC capaz de realizar todas las funciones de control necesarias. Entre las funciones principales a realizar se encuentran:

- Control remoto de los diferentes dispositivos (fuentes de alimentación y osciloscopio) para un correcto funcionamiento de la transmisión y recepción de señal.
- Recepción de señal y almacenamiento de la misma para su uso posterior en el análisis de datos.
- Control del sistema de agitación del medio, que nos permite dar movilidad a las partículas en el medio.

Para realizar todas estas funciones de manera eficiente se ha desarrollado una interfaz gráfica empleando el entorno *GUIDE* de MATLAB, de forma que podemos gestionar el control de todos los dispositivos y seleccionar diferentes parámetros para la realización de medidas. En los siguientes apartados se explicará en detalle como se ha desarrollado tanto la interfaz como el control de equipos.

3.2.1. Control de dispositivos

Para llevar a cabo la gestión y control de los dispositivos hay que tener en cuenta dos cosas:

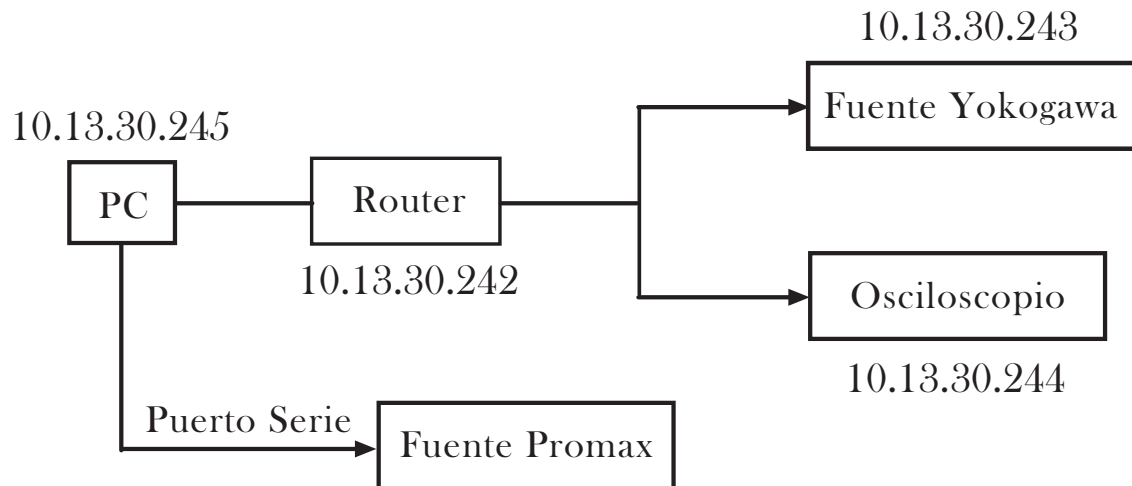


Figura 3.11: Esquema de conexión de equipos y direcciones.



Figura 3.12: Interfaz de control del sistema.

1. La conexión con la fuente Yokogawa y el osciloscopio se realiza mediante Ethernet, de forma que con un router creamos una pequeña subred cuyas direcciones IP se pueden ver en la Figura 3.11. Por otro lado, la conexión con la fuente Promax FA-851 se realiza mediante puerto serie. Cabe destacar que MATLAB incluye funciones internas que permiten la conexión mediante Ethernet y puerto serie, lo cual simplifica mucho el desarrollo de esta parte.
2. El control de todos los equipos se hace empleando el estándar SCPI (Standard Commands for Programmable Instruments), creado por un consorcio internacional de los principales equipos de instrumentación y que facilita enormemente la programación de los diferentes equipos.

3.2.2. Interfaz gráfica de control

Como ya se comentó el inicio del apartado, la interfaz gráfica de control se desarrolló empleando el entorno *GUIDE* de MATLAB que facilita en gran medida la creación de la misma así como la configuración de su funcionamiento interno. En la Figura 3.12 se puede ver la forma que toma la interfaz implementada.

Como se puede observar, la interfaz diseñada está formada por cuatro partes principales que a continuación explicamos:

- **Entrada de datos.** En este apartado se eligen los parámetros generales que se van a emplear para realizar las medidas. El primero de ellos nos permite seleccionar el *span* o ancho de pantalla de recepción en el osciloscopio, de manera que podemos visualizar una mayor o menor número de puntos de la señal recibida. El segundo de los parámetros nos permite seleccionar entre las longitudes de onda de transmisión con las que vamos a trabajar, rojo y azul. El último de todos nos permite seleccionar la corriente que vamos a aplicar en el driver de transmisión y, de forma equivalente, la potencia de transmisión que queremos emplear.
- **Opciones.** En este otro apartado se eligen opciones de configuración secundarias para la realización de medidas. La primera de ellas nos permite visualizar un histograma de los datos recibidos hasta el momento, mientras que la segunda nos permite activar o no el driver de transmisión. Esta última opción de mantener desactivada la transmisión nos puede servir para realizar medidas de ruido del canal, que en nuestro caso coincide con el ruido de oscuridad del receptor. Por último, la tercera opción nos permite seleccionar entre un entorno estático o un entorno en movimiento mediante la activación de las bombas.
- **Botones.** Los dos botones definidos en esta parte permiten la realización de medidas propiamente dicha. El primero de ellos *Conexión Equipos* se encarga de conectarse con los equipos y disponerlos en un estado inicial (por ejemplo, fijar la corriente de salida de la fuente de alimentación a un valor determinado). El segundo botón *Comenzar transmisión* es el que da comienzo al procedimiento de medidas, realizando para ello el diagrama de flujo de la Figura 3.13.

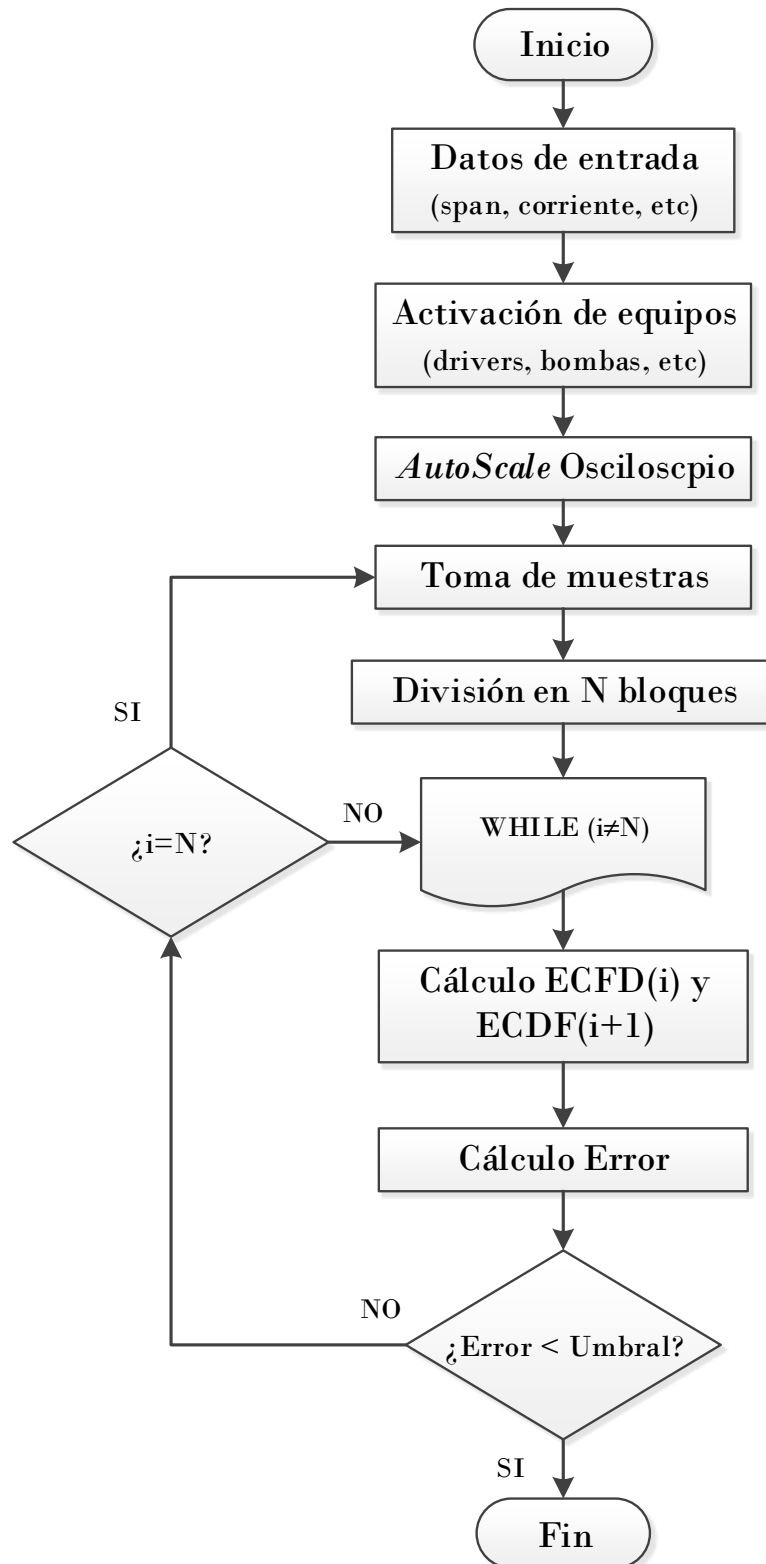


Figura 3.13: Funcionamiento del software de control.

Como se puede observar, se comienza tomando los parámetros de entrada especificados en la interfaz gráfica y se activan los diferentes dispositivos necesarios para la toma de medidas. A continuación se realiza un *AutoScale* del osciloscopio para configurar adecuadamente el mismo a la recepción de señal. Seguidamente se realiza un proceso iterativo en el cual se toma muestras de la señal recibida y se calcula el error cometido, saliendo del proceso cuando el error calculado sobrepasa un determinado umbral. Por último, una vez acabado el proceso de medidas se realiza el guardado de la muestras en un fichero.

Cabe destacar que en lugar de tomar todas las muestras disponibles en el osciloscopio, se decidió reducir la frecuencia de muestreo del para tomar un menor número de muestras, lo cuál reduce en gran medida el cómputo a realizar. Una vez tomadas las muestras se comienza el procedimiento de cálculo de error. En primer lugar, se dividen las muestras tomadas en N bloques de tamaño fijo (en nuestro caso 256), descartando las muestras sobrantes. A continuación se calcula la ECFD (Empirical Cumulative Distribution Function) para bloques de muestras consecutivos, aplicando la Ecuación 3.2 para obtener el error cuadrático medio entre ambas curvas, y que usamos como condición de salida del proceso iterativo.

$$Error = \frac{\sum_{i=0}^M ecdf_1^i - ecdf_2^i}{M} \quad (3.2)$$

Si ocurre que se han usado todos los bloques de muestras y no se ha cumplido la condición de error, se vuelve a realizar una toma de datos del osciloscopio y se repite el proceso anterior.

- **Información.** En este apartado de la interfaz se añade cierta información relevante para el usuario a medida que avanza el proceso de medida. Concretamente se informa el número de tramas completas tomadas del osciloscopio, el número de muestras leídas de dichas tramas y el error cometido hasta el momento. Por último, también se indica el valor de corriente que se está empleando, lo cuál puede ser bastante útil para identificar los datos en caso de realizar medidas con diferentes valores de potencia.

Capítulo 4

Medidas de canal y resultados

En este capítulo se recoge el proceso completo de generación de medidas empleando el sistema diseñado en el capítulo anterior. Para ello, se ha dividido el proceso en dos partes principales: la primera de ellas consiste en obtener medidas de ruido del canal y tratar de caracterizar de forma estadística su comportamiento. La segunda parte del proceso trata de obtener medidas de señal recibida bajo diferentes condiciones dentro del canal. Una vez hecho esto se procede a obtener los parámetros característicos del canal y se propone el modelo de calidad de enlace del canal.

4.1. Caracterización del ruido

En este apartado se procede a caracterizar el ruido del canal para conocer su comportamiento. En primer lugar hay que obtener medidas de ruido dentro del canal, para lo cual empleamos la interfaz gráfica diseñada en el capítulo anterior y la configuramos en modo "medida de ruido", que si recordamos consiste en dejar desactivado el driver de transmisión de manera que en el receptor solo se va a medir el ruido del canal. En este caso, otros parámetros de la interfaz como la potencia de transmisión, la longitud de onda o el *span* serán ignorados a la hora de obtener la medida.

Una vez generadas las medidas de ruido y almacenadas en su correspondiente fichero, se procede a su análisis posterior en MATLAB que consta de tres partes:

- **Normalización de los datos.** Para facilitar el análisis de los datos, lo más sencillo consiste en normalizarlos a través de la media y la desviación estándar aplicando la Ecuación 4.1, donde nd son los datos normalizados, ud son los datos sin normalizar, μ es la media de los datos y σ es la desviación estándar de los datos.

$$nd = \frac{ud - \mu}{\sigma} \quad (4.1)$$

- **Aplicación de un test estadístico.** En nuestro caso vamos a emplear el test de Kolmogorov-Smirnov para comprobar si el ruido del canal sigue una distribución

Normal (a priori sería lo más predecible). Este test comprueba la hipótesis nula de que los datos que le pasamos provienen de una distribución Normal dentro de un nivel de significancia del 95 %. Para ello, vamos a tomar un total de 5000 muestras dentro del conjunto de datos normalizados y vamos a aplicar el test para ver que sucede.

- **Análisis de los resultados del test.** Tras aplicar el test de Kolmogorov-Smirnov, este acepta la hipótesis nula con una probabilidad de equivocación muy baja alrededor de un 10 %, de forma que podemos concluir que el ruido de nuestro canal se ajusta a una distribución Normal. Para corroborar los resultados del test en la Figura 4.1 se presentan dos imágenes. La imagen superior muestra el histograma de los datos normalizados y superpuesta la función de distribución de probabilidad (PDF - Probability Distribution Function) de una Normal, mientras que la imagen inferior sigue el mismo patrón pero para el caso de las funciones de distribución acumulativas (ECDF). En ambos casos se puede observar como el ruido del canal se ajusta perfectamente a una distribución Normal.

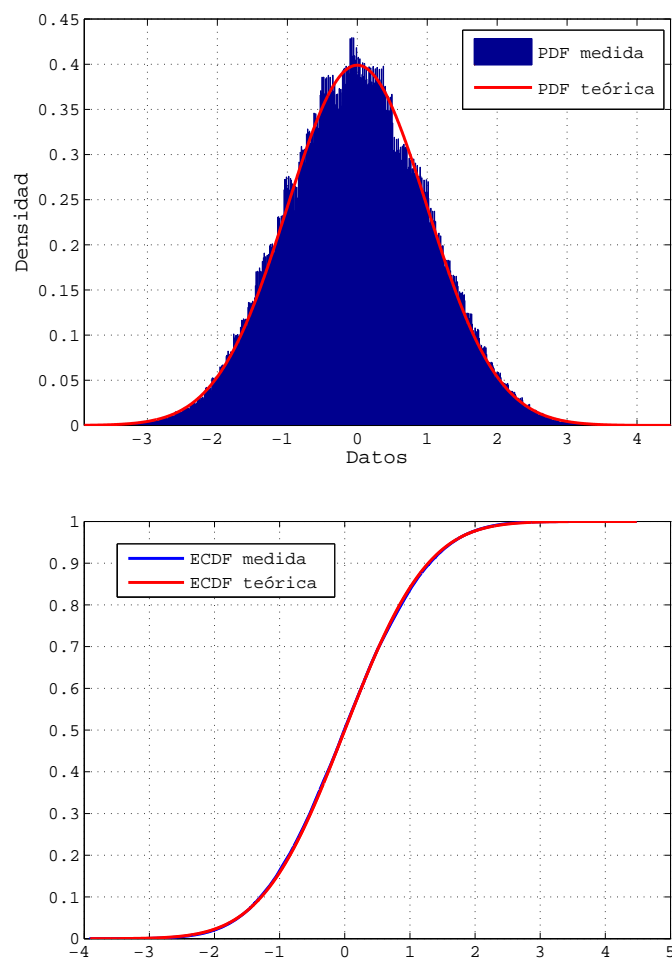


Figura 4.1: Ajuste del ruido de canal con la PDF (arriba) y con la ECDF (abajo).

Con estos resultados quedaría demostrado que el ruido de nuestro canal se comporta siguiendo una distribución Normal. En un principio el procedimiento de caracterización del ruido se pensó con el objetivo de filtrar dicho ruido en la señal medida, de forma que obtuviéramos la señal pura. Este proceso de filtrado no fue posible debido a que el ruido era mayor que la propia variabilidad de la señal, de forma que si eliminábamos el ruido estaríamos quitando la posible variación de la señal.

4.2. Medidas de canal

Este apartado comprende la obtención de medidas de señal recibida bajo diferentes condiciones de contorno del canal y su posterior uso para obtener diferentes parámetros del canal. Para abordar este proceso se ha decidido dividirlo en dos partes: la primera de ellas consiste en la obtención de medidas propiamente dicha, mientras que la segunda recoge el análisis de los datos generados. En los siguientes apartados se explicará en detalle cada uno de los procesos realizados.

4.2.1. Generación de medidas

Para obtener las medidas de señal recibida dentro del canal es necesario emplear nuevamente la interfaz gráfica diseñada en el capítulo anterior. Para ello, la configuramos en modo "medida de señal", que si recordamos consiste en activar el driver de transmisión, de manera que en el receptor se va a medir la señal procedente del driver de transmisión ponderada por los efectos del canal. En este caso es necesario ajustar otros parámetros de la interfaz como la potencia de transmisión, la longitud de onda o el *span*, cuya configuración final se puede ver en la Tabla 4.1. Un parámetro adicional configurable dentro del propio canal es la concentración de partículas, cuyo valor se especifica en la misma tabla.

Parámetro	Valor
Span	1 ms
Potencia	[50 mA ... 150 mA] ; inc = 10 mA
Longitud de onda	{660 nm, 470 nm}
Concentración de partículas	{nula, 1g, 2g}
Estado del medio	{quieto,agitado}

Tabla 4.1: Configuración de la interfaz para obtener las medidas.

Cabe destacar que la partícula empleada dentro del canal es *Arthrospira platensis*, una especie de alga marina que se puede conseguir fácilmente en formato polvo. Una vez configurada correctamente la interfaz el sistema se comienza a tomar medidas dentro del canal empleando los parámetros especificados en la interfaz. Cabe destacar que se realiza una toma de medidas para cada combinación de parámetros o escenario, de forma que empleando 3 concentraciones, dos longitudes de onda, once potencias de transmisión y dos estados obtendríamos un total de 132 medidas de señal dentro del canal.

4.2.2. Análisis

Una vez generadas y almacenadas las medidas de señal recibida, comenzamos el proceso de análisis. En primer lugar debemos obtener a partir de las medidas dos parámetros característicos del canal: atenuación y tiempo de coherencia. A continuación se definen ambos parámetros:

- **Atenuación.** Este parámetro define en cierta forma la potencia total dentro un enlace. En general la atenuación del canal óptico suele deberse a la interacción luz-materia y otros efectos como la fauna. La forma más sencilla de definir la atenuación de un canal consiste en emplear la Ecuación 4.2.

$$L = \frac{P_{trans}}{P_{rec}} \quad (4.2)$$

donde P_{trans} es la potencia transmitida, P_{rec} es la potencia recibida y L es la atenuación del canal. Por otro lado, teniendo en cuenta la cadena de recepción de nuestro sistema la potencias recibida se podría obtener de la siguiente manera:

$$P_{rec} = \frac{V}{G \cdot R} \quad (4.3)$$

donde V es la tensión medida en el ADC, R es la responsividad de nuestro fotoreceptor y G es la ganancia de transimpedancia de nuestro driver de recepción.

- **Tiempo de coherencia.** Este parámetro se define en general como el tiempo en que un canal puede considerarse como constante, y se utiliza para caracterizar la velocidad en la que se producen cambios dentro del canal. Una expresión posible para obtener este parámetro se presenta a continuación:

$$T_c = \frac{1}{B_d} \quad (4.4)$$

donde B_d es el ancho de banda Doppler del canal. En nuestro caso al trabajar con un canal óptico no existe Doppler, lo que significaría tener teóricamente un B_d nulo y, por tanto, un tiempo de coherencia T_c infinito que indicaría un canal constante. Un procedimiento alternativo para obtener este parámetro consiste en generar la autocovarianza de la señal medida. Una vez hecho esto, el tiempo de coherencia se obtiene aplicando un umbral preestablecido a la señal de autocovarianza.

Una vez explicados los parámetros de nuestro canal, se define un proceso iterativo en el cual se obtienen ambos parámetros para la señal medida en cada escenario. En la Figura 4.2 se pueden observar los valores de atenuación para el escenario estático y en movimiento teniendo en cuenta las diferentes concentraciones y las dos longitudes de onda empleadas.

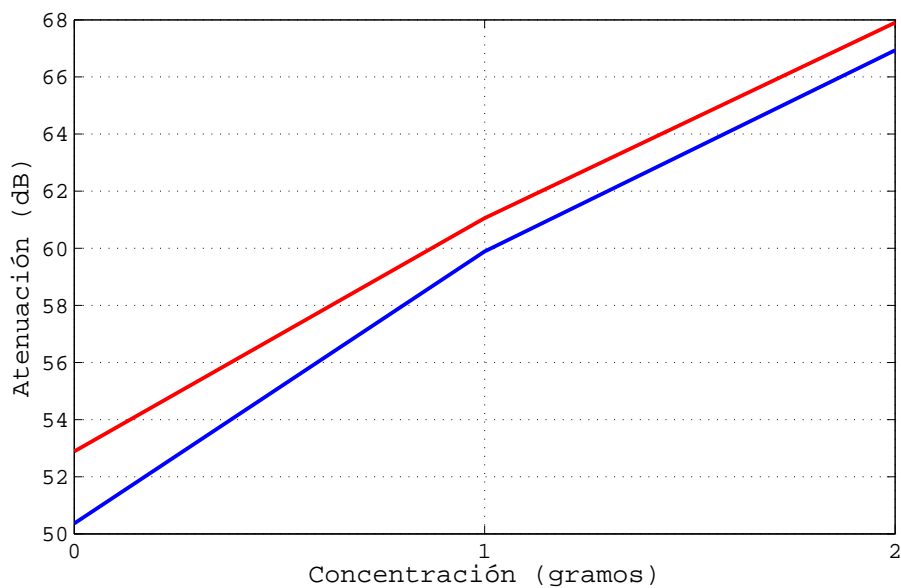
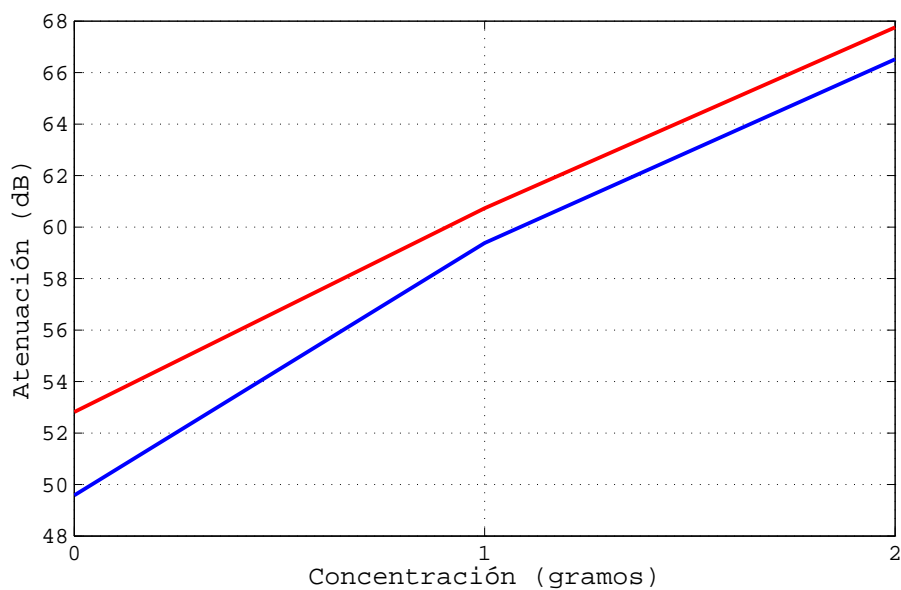


Figura 4.2: Valores de atenuación para el caso estático (arriba) y en movimiento (abajo).

Como se puede observar, los valores obtenidos son coherentes ya que a medida que aumenta la concentración en el medio crecen los valores de atenuación del mismo. Por otro lado, existen diferencias significativas entre los resultados con una longitud de onda u otra, siendo ligeramente superiores en el caso del rojo, debidas principalmente a que tanto el factor de absorción como las responsabilidades del receptor afectan de manera distinta a cada longitud de onda. Cabe destacar que no se observan grandes diferencias al trabajar con un medio estático o en movimiento.

En cuanto al tiempo de coherencia, a medida que se iban obteniendo valores nos dimos cuenta que no se diferenciaban de unos casos a otros. De hecho, los propios valores del tiempo de coherencia nos decían que el canal se mantenía constante a pesar de usar agitación y distintas concentraciones de partículas. En un principio, la primera opción fue pensar que la variación generada en el canal no era suficiente para obtener valores del tiempo de coherencia. Para comprobar esta teoría se decidió obtener la relación señal a ruido (SNR) de cada caso y emplear un test estadístico para comprobar si la media de la SNR variaba de un caso a otro. En cuanto al test estadístico decidimos utilizar un ANOVA, ya que este test comprueba diferencias significativas entre las medias de dos o más casos cualesquiera. Cabe destacar que para obtener la SNR de cada escenario se seleccionaron un total de 20000 muestras aleatoriamente, trabajando únicamente con los escenarios correspondientes a una corriente de 150 mA.

Una vez obtenida la SNR para los 12 casos seleccionados, en lugar de probar todos los casos unos con otros se decidió trabajar de manera coherente con los tres parámetros disponibles longitud de onda, concentración y estado (quieto o agitado), dejando siempre dos parámetros fijos y variando el restante. De esta forma se obtuvieron los siguiente casos de test:

- **Caso 1.** Se mantienen fijos la longitud de onda y la concentración mientras que se varía el estado. Se aplica el test un total de 4 veces.
- **Caso 2.** Se mantienen fijos la longitud de onda y el estado mientras que se varía la concentración. Se aplica el test un total de 6 veces.
- **Caso 3.** Se mantienen fijos la concentración y el estado mientras que se varía la longitud de onda. Se aplica el test un total de 6 veces.

Tras aplicar el test para los tres casos considerados y los diferentes valores de los parámetros dentro de los mismos, se obtuvo que en todos los casos el test afirma que existen diferencias significativas entre las SNR, por tanto, la variación de los parámetros produce variaciones en la SNR. No obstante, recordemos que la SNR depende tanto de la esperanza como de la propia variabilidad, por tanto, el test nos indica que existen diferencias de un caso a otro pero no corrobora si esta variaciones se deben a variaciones en la variabilidad o variaciones en la esperanza. Llegados a este punto se decidió que la variabilidad del canal no era suficiente para obtener valores del tiempo de coherencia. Por este motivo se optó por desarrollar un segundo escenario con mayor variación que nos permitiera obtener valores de ambos parámetros. En el siguiente apartado se explicará con detalle el procedimiento de generación de medidas y obtención de resultados.

4.3. Medidas de canal variable

Para implementar nuestro canal variable se han utilizado, además de todo el montaje del apartado anterior, dos parámetros adicionales: velocidad del viento y distancia superficie-receptor. La velocidad del viento nos permite generar mayor o

menor variabilidad en el canal debido a que actuamos directamente sobre la superficie, mientras que la variación de la distancia superficie-receptor permite ver como se ven afectadas las comunicaciones a medidas que nos alejamos de la superficie. Para llevar a cabo este experimento se ha implementado el montaje de la Figura 4.3.

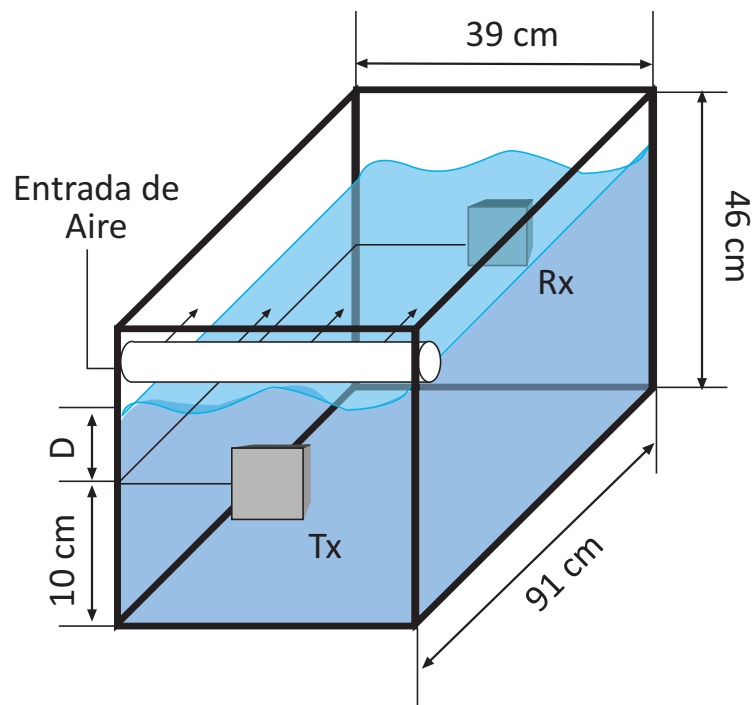


Figura 4.3: Montaje para las medidas con simulación de viento.

Como se puede observar, se ha añadido un tubo con un generador de aire conectado a uno de sus extremos. Cabe destacar que este tubo permanece en todo momento pegado a la superficie del agua y tiene una serie de agujeros que permiten la salida del aire. Por otro lado, se mantiene una distancia constante entre los dispositivos y el fondo de la superficie de 10 centímetros, donde D corresponde a la distancia superficie-receptor. Una vez hecho el montaje se procedió a obtener medidas de señal recibida dentro del canal que nos permitieran ver la variabilidad del mismo. Para ello, se utilizaron los parámetros de la Tabla 4.2, de forma que se obtuvieron un total de 16 medidas.

Parámetro	Valor
Span	1 ms
Potencia	200 mA
Longitud de onda	{660 nm, 470 nm}
Velocidad de viento	[8.1, 13] m/s
Distancia superficie-receptor	[2,5,10,15] cms

Tabla 4.2: Parámetros para la toma de medidas.

Cabe destacar que las velocidades del generador han sido medidas empleando un anemómetro digital, cuyas especificaciones se pueden encontrar en el Apéndice A.

4.3.1. Análisis

A partir de los datos obtenidos en el apartado anterior, se han aplicado las definiciones de los parámetros vistas con anterioridad y se han obtenido los valores de tiempo de coherencia y atenuación para cada uno de los casos. En la Figura 4.4 se pueden ver los resultados correspondientes al tiempo de coherencia.

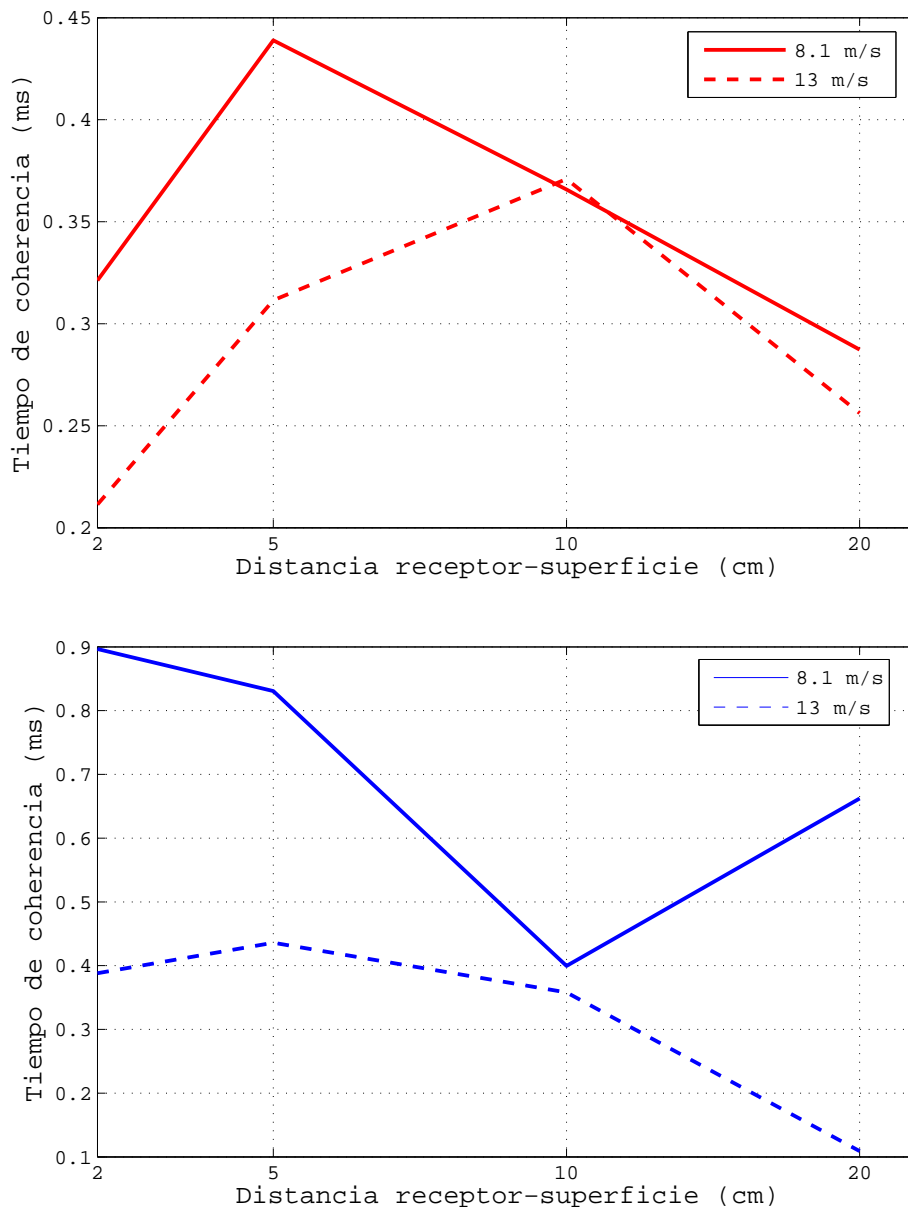


Figura 4.4: Tiempo de coherencia para el rojo (arriba) y el azul (abajo).

Como se puede observar, para el caso del rojo se produce un incremento del tiempo de coherencia al incrementar la distancia receptor superficie de 2 a 5 cm, lo cual es lógico ya que al incrementar la distancia reducimos los efectos que pueda tener la variación del agua en la superficie sobre la señal medida en el receptor. A medida que

incrementamos a distancia, el tiempo de coherencia baja pero sigue siendo mayor que para el caso extremo de 2 centímetros. Esto ocurre porque en estos casos las muestras comienzan a estar incorreladas entre sí, permitiendo que el canal comience a variar más rápidamente y haciendo que el tiempo de coherencia disminuya. En cuanto al caso del azul ocurre algo parecido, el tiempo de coherencia sube y luego comienza a bajar. Únicamente se observa una diferencia para el caso de 8 m/s ya que a 10 cm se obtiene un valor anormal de tiempo de coherencia.

En cuanto a los valores de atenuación, presentados en la Tabla 4.3, destacar que sólo se han obtenido cuatro valores, ya que se han empleado dos longitudes de onda, dos velocidades y una sola corriente de transmisión, ignorando la distancia superficie-receptor ya que no afecta a la atenuación del canal. Como se puede observar, los valores obtenidos son bastante coherentes, siendo superiores en el caso del azul. Cabe destacar que se observa un ligero incremento de la atenuación al incrementar la intensidad del viento en la superficie.

	Velocidad 8.1 m/s	Velocidad 13 m/s
Rojo	49.16 dB	49.51 dB
Azul	50.76 dB	51.44 dB

Tabla 4.3: Valores de atenuación para el caso variable.

4.3.2. Modelo de calidad de enlace

En este apartado se propone un modelo para proporcionar calidad de enlace dentro de un enlace óptico inalámbrico submarino. Para ello, nuestro modelo se va a basar en cuatro parámetros principales: la función de distribución del canal, el tiempo de disponibilidad del canal, la tasa de error (BER - Bit Error Rate) y el tiempo de coherencia del canal. Cabe destacar que tanto la función de distribución como el tiempo de coherencia del canal han sido hallados en los apartados anteriores.

Definición del modelo

Para obtener nuestro modelo, partimos inicialmente de la función de distribución de probabilidad (PDF) de nuestro canal. Esta función, representada en la Figura 4.5, expresa cual es la probabilidad de que llegue una potencia u otra a nuestro receptor para nuestro canal en concreto. Por otro lado, definimos la sensibilidad (S) de nuestro receptor como la mínima potencia óptica que es capaz de recibir y el tiempo de disponibilidad del enlace como la zona sombreada de la PDF mayor que la sensibilidad, cuya expresión se muestra a continuación.

$$T_{disp} (\%) = \int_S^{\infty} \rho d\rho \quad (4.5)$$

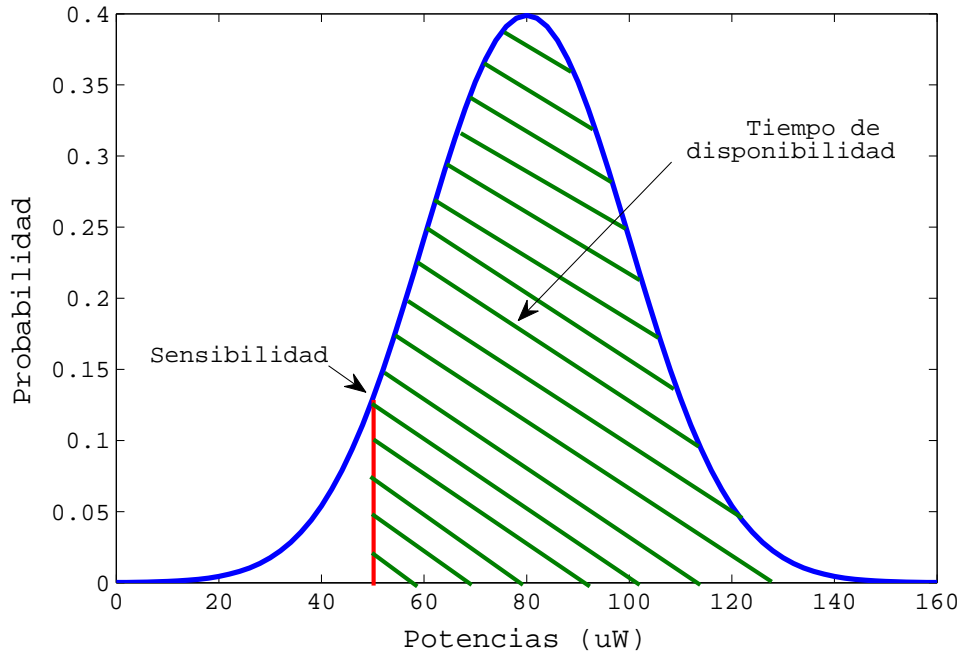


Figura 4.5: Tiempo de disponibilidad del canal.

Este parámetro nos indica el porcentaje de tiempo que nuestro canal funcionará correctamente sin interrupciones. Como se puede observar, es un parámetro que depende directamente de la sensibilidad (S) del receptor, por tanto, si fijamos el tiempo de disponibilidad podemos obtener de la PDF la sensibilidad de nuestro receptor. Cuando menor sea el valor de sensibilidad, mayor tiempo de disponibilidad tendrá nuestro canal y viceversa. Cabe destacar que la sensibilidad de un receptor depende en gran medida de su calidad, hecho que suele estar sujeto al precio del propio receptor, es decir, cuanto mayor sensibilidad queramos mayor deberá ser la calidad del receptor y, por tanto, mayor su precio. Por otro lado, al fijar el valor de sensibilidad conocemos el nivel mínimo de potencia aceptable en el receptor y sabiendo aproximadamente el valor de atenuación (L) de nuestro canal, podemos estimar la potencia de transmisión necesaria mediante la Ecuación 4.6.

$$P_{trans} = S \cdot L \quad (4.6)$$

Como ya hemos visto, a partir del tiempo de disponibilidad y la PDF del canal podemos estimar la sensibilidad del receptor. No obstante, usando el tiempo de coherencia podemos estimar algunos parámetros más. Como ya se explicó anteriormente, el tiempo de coherencia se define como el tiempo en el cual el canal permanece coherente o, dicho en otras palabras, constante. Por tanto, si definimos el tiempo de frame máximo T_{frame} de la información transmitida tal y como recoge la Ecuación 4.7, estaríamos asegurando que la señal transmitida nunca se va a ver afectada por los posibles cambios que pueda haber en el canal, al ser su velocidad de transmisión mayor que la velocidad a la cual se producen los cambios en el canal.

$$T_{frame|MAX} = T_c \quad (4.7)$$

Desarrollando en la Ecuación 4.7 el valor de T_{frame} para un caso concreto, por ejemplo una modulación OOK (On-Off Keying), obtendríamos la siguiente expresión:

$$T_{frame} \leq T_c \rightarrow \frac{N}{BW} \leq T_c \rightarrow BW \leq \frac{N}{T_c} \quad (4.8)$$

donde BW es el ancho de banda, N es el número de bits y T_c es el tiempo de coherencia. Como se puede observar, tanto el número de bits como el tiempo de coherencia son conocidos de manera que sabiendo el tiempo de coherencia también podemos conocer de forma aproximada el ancho de banda de nuestro canal.

Para finalizar nuestro modelo definimos la BER, que será la máxima permitida para la modulación que empleemos dentro de nuestro enlace, y la relación señal a ruido cuya expresión se presenta en la Ecuación 4.9.

$$SNR = \frac{\left(\frac{P_{trans}R}{L}\right)^2}{2qB\left(I_d + \frac{P_{trans}R}{L}\right) + \frac{4KTB}{R_L}} \quad (4.9)$$

donde P_{trans} es la potencia de transmisión, R es la responsividad, L es la atenuación del canal, B es el ancho de banda y las expresiones del denominador corresponden al ruido shot y térmico respectivamente. Usando las curvas de conversión adecuadas para cada modulación es posible obtener la relación señal a ruido (SNR) en función de la BER, de forma que si tenemos el valor de la SNR y el ancho de banda obtenido en el apartado anterior, podemos despejar la potencia de transmisión necesaria. Cabe destacar que ya obtuvimos un valor de potencia a partir de la sensibilidad, de forma que la potencia necesaria final se calcula empleando la Expresión 4.10.

$$P_{trans|FINAL} = \max\{P_{trans|S}, P_{trans|SNR}\} \quad (4.10)$$

Ejemplo práctico

En este apartado se presenta un ejemplo de uso del modelo de calidad de enlace explicado anteriormente. Para ello, vamos a partir de una función de distribución de probabilidad de canal y los valores de tiempo de coherencia, atenuación, número de bits, tiempo de disponibilidad y BER presentados en la Tabla 4.4. Supondremos el uso de una modulación OOK para la transmisión de información, tal y como se hizo en la definición del modelo y que nuestra longitud de onda es azul.

Parámetro	Valor
Tiempo de coherencia	1 ms
Atenuación	30 dB
Número de bits	1024
Tiempo de disponibilidad	99 %
BER	10^{-7}

Tabla 4.4: Parámetros iniciales del modelo.

En primer lugar, con el valor de tiempo de coherencia fijado podemos obtener el tiempo máximo de frame y el ancho de banda, tal y como se ve a continuación:

$$T_{frame|MAX} = T_c = 1 \text{ ms}$$

$$BW = \frac{N}{T_c} = \frac{1024}{1ms} = 1024 \text{ kHz}$$

Si fijamos el tiempo de disponibilidad en la función de distribución del canal podemos obtener el valor aproximado de la sensibilidad, tal como se ve en la Figura 4.6, con un valor de $30\mu W$.

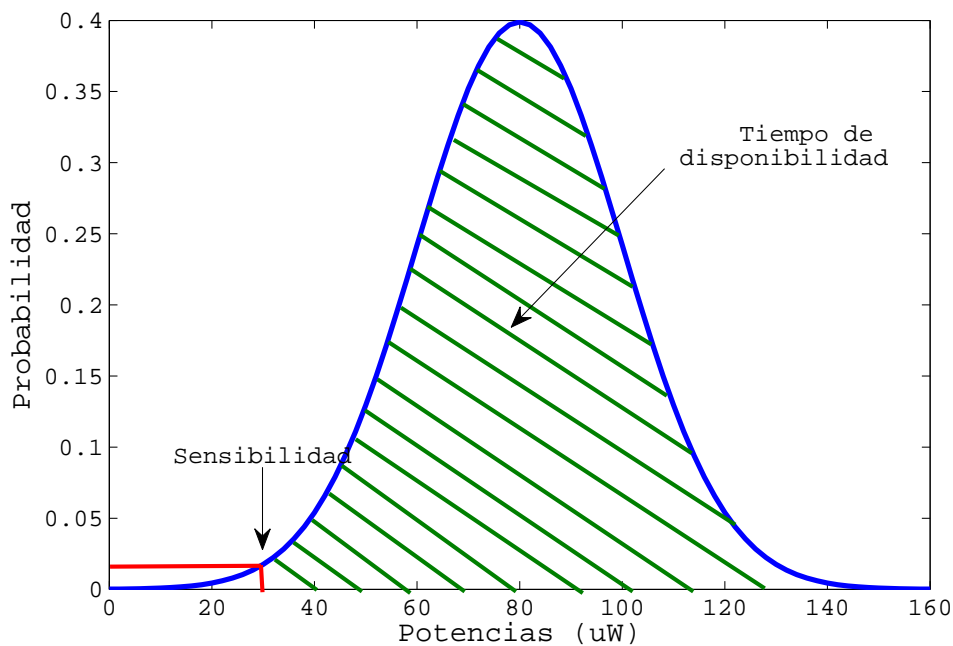


Figura 4.6: Tiempo de disponibilidad del canal.

Conociendo el valor de sensibilidad S y la atenuación del canal, aplicamos la fórmula y obtenemos la potencia de transmisión estimada necesaria para las comunicaciones en nuestro canal.

$$P_{trans|S} = S \cdot L = 30 \text{ uW} \cdot 10^{\frac{30}{10}} = 300 \text{ mW} \quad (4.11)$$

Empleando las tablas de conversión para la modulación OOK, obtenemos a partir de la tasa de error un valor de SNR aproximado de $11.50dB$. Usando el valor de ancho de banda obtenido a partir del tiempo de coherencia y los valores restantes indicados en la Tabla 4.5, obtenemos la potencia de transmisión tal como se ve en la Ecuación 4.12. Cabe destacar que es necesario resolver el cálculo mediante una ecuación de segundo grado.

Parámetro	Valor
Responsividad (azul)	0.14
Resistencia R_L	$10k\Omega$
Corriente <i>shot</i> I_d	$100\mu A$
Temperatura	$300K$

Tabla 4.5: Valores restantes de los parámetros.

$$SNR = \frac{\left(\frac{P_{trans}R}{L}\right)^2}{2qB\left(I_d + \frac{P_{trans}R}{L}\right) + \frac{4KTB}{R_L}} \rightarrow P_{trans|SNR} \approx 500\mu W \quad (4.12)$$

Para finalizar empleamos la Ecuación 4.13 para obtener la potencia de transmisión necesaria en nuestro caso.

$$P_{trans|FINAL} = \max\{P_{trans|S}, P_{trans|SNR}\} = 300mW \quad (4.13)$$

Para terminar, se presentan en la Tabla 4.6 los valores obtenidos por nuestro modelo.

Parámetro	Valor
Potencia de transmisión	300 mW
Tiempo de frame máximo	1 ms
Ancho de banda	1024 kHz

Tabla 4.6: Parámetros finales del modelo.

Como se puede observar, para que nuestro canal tenga una disponibilidad del 99 % debemos imponer como restricciones en nuestro sistema una potencia mínima de transmisión de $300mW$ y un tamaño máximo de frame de 1 ms para que las comunicaciones no se vean afectadas por las posibles incoherencias del canal. Además trabajaremos con un ancho de banda de $1024kHz$.

Capítulo 5

Conclusiones

En el presente trabajo se ha llevado a cabo un procedimiento de diseño, montaje y realización de medidas de canal submarino con el principal objetivo de obtener parámetros característicos del mismo que nos permitieran proponer un modelo estadístico capaz de proporcionar cierta calidad en un enlace inalámbrico óptico submarino.

Para ello, se ha comenzado por el diseño de un sistema que permitiera generar medidas reales de canal submarino. El proceso de diseño se ha dividido en dos partes, una en la cual se ha implementado la parte hardware del sistema formada por el emisor, el receptor y el recipiente, y otra en la cual se ha desarrollado una interfaz de control del sistema. En añadido a estas dos partes se ha diseñado un sistema que permite controlar la agitación del medio y otro que permite aplicar distintas velocidades de viento en la superficie del agua. El sistema completo fue probado, comprobando que cumplía su función de obtención de medidas de forma correcta.

Una vez diseñado el sistema se han definido dos procedimientos de medida diferentes. El primero de ellos consiste en la obtención de medidas de señal recibida variando tres parámetros del medio: concentración, agitación y longitud de onda. A partir de este proceso hemos obtenido valores de atenuación del medio. El segundo procedimiento comprende la obtención de medidas de señal aplicando distintas velocidades de viento en la superficie de manera que se genera variabilidad en el medio y se pueden obtener valores de tiempo de coherencia del canal. Tras obtener valores de ambos parámetros se ha comprobado que son coherentes con respecto a las condiciones aplicadas en el canal.

A partir de los parámetros obtenidos se ha propuesto un modelo capaz de proporcionar calidad de servicio en el canal. En primer lugar, partiendo de la función de distribución de probabilidad del canal y fijando la sensibilidad se obtiene el tiempo de disponibilidad del canal. Si conocemos la atenuación del canal y la sensibilidad, podemos obtener la potencia de transmisión necesaria para nuestro canal. En segundo lugar, si usamos el tiempo de coherencia podemos obtener el ancho de banda del canal y el tiempo de frame máximo para evitar las incoherencias del canal. De esta forma ha quedado comprobado que, partiendo de los parámetros del canal y de ciertos parámetros del sistema como la sensibilidad, nuestro modelo es capaz de proporcionar cierta calidad

de servicio, ya que nos permite a priori conocer el valor de los parámetros a usar para lograr un tiempo de servicio mínimo.

Parte II

Bibliografía

Bibliografía

- [1] R. A. Stephen, “Ocean seismic network seafloor observatories,” *Oceanus*, vol. 41, pp. 33 – 37, 1998.
- [2] B. Zhang, G. Sukhatme, and A. A. Requicha, “Adaptive sampling for marine microorganism monitoring,” in *Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 2, pp. 1115–1122 vol.2, Sept 2004.
- [3] E. Cayirci, H. Tezcan, Y. Dogan, and V. Coskun, “Wireless sensor networks for underwater surveillance systems.,” *Ad Hoc Networks*, pp. 431–446, 2006.
- [4] D. Anguita, D. Brizzolara, and G. Parodi, *Prospects and Problems of Optical Diffuse Wireless Communication for Underwater Wireless Sensor Networks*. INTECH Open Access Publisher, 2010.
- [5] U. M. Cella, R. Johnstone, and N. Shuley, “Electromagnetic wave wireless communication in shallow water coastal environment: Theoretical analysis and experimental results,” in *Proceedings of the Fourth ACM International Workshop on UnderWater Networks, WUWNet '09*, (New York, NY, USA), pp. 9:1–9:8, ACM, 2009.
- [6] A. Al-Shamma'a, A. Shaw, and S. Saman, “Propagation of electromagnetic waves at mhz frequencies through seawater,” *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 52, pp. 2843–2849, Nov 2004.
- [7] R. Urick, *Principles of underwater sound*. NY: McGraw-Hill, 1983.
- [8] M. Stojanovic, “On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel,” in *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Underwater Networks, WUWNet '06*, (New York, NY, USA), pp. 41–47, ACM, 2006.
- [9] Z. Hao, G. Dawei, Z. Guoping, and T. Gulliver, “The impact of antenna design and frequency on underwater wireless communications,” in *Communications, Computers and Signal Processing (PacRim), 2011 IEEE Pacific Rim Conference on*, pp. 868–872, Aug 2011.
- [10] S. Arnon, “Underwater optical wireless communication network,” *Optical Engineering*, vol. 49, no. 1, pp. 015001–015001–6, 2010.

-
- [11] S. Arnon and D. Kedar, "Non-line-of-sight underwater optical wireless communication network," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 26, pp. 530–539, Mar 2009.
- [12] L. I. of America, *ANSI Z136. 1 Safe Use of Lasers (2014)*. Laser Institute of America, 2014.
- [13] *Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements*. Geneva: IEC, 2007.
- [14] J. Simpson, B. Hughes, and J. Muth, "A spatial diversity system to measure optical fading in an underwater communications channel," in *OCEANS 2009, MTS/IEEE Biloxi - Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges*, pp. 1–6, Oct 2009.
- [15] F. Hanson and S. Radic, "High bandwidth underwater optical communication," *Appl. Opt.*, vol. 47, pp. 277–283, Jan 2008.
- [16] V. I. Haltrin, "Chlorophyll-based model of seawater optical properties," *Appl. Opt.*, vol. 38, pp. 6826–6832, Nov 1999.
- [17] R. M. Pope and E. S. Fry, "Absorption spectrum (380–700 nm) of pure water. ii. integrating cavity measurements," *Appl. Opt.*, vol. 36, pp. 8710–8723, Nov 1997.
- [18] X. Quan and E. S. Fry, "Empirical equation for the index of refraction of seawater," *Appl. Opt.*, vol. 34, pp. 3477–3480, Jun 1995.
- [19] S. Hranilovic, *Wireless Optical Communication System*. Springer New York, 2004.
- [20] L. Johnson, R. Green, and M. Leeson, "A survey of channel models for underwater optical wireless communication," in *Optical Wireless Communications (IWOW), 2013 2nd International Workshop on*, pp. 1–5, Oct 2013.
- [21] C. D. Mobley, B. Gentili, H. R. Gordon, Z. Jin, G. W. Kattawar, A. Morel, P. Reinersman, K. Stamnes, and R. H. Stavn, "Comparison of numerical models for computing underwater light fields," *Appl. Opt.*, vol. 32, pp. 7484–7504, Dec 1993.

Parte III

Apéndices

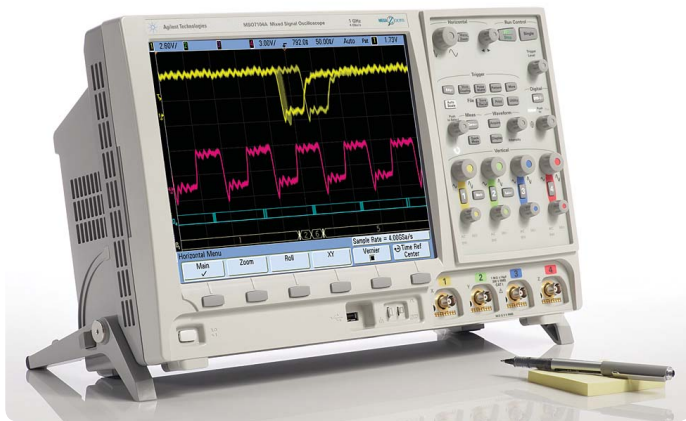
Apéndice A

Hojas de características

Quick Fact Sheet

Agilent InfiniiVision 7000 Series Oscilloscopes

Engineered for the BEST signal visibility



Engineered with advanced technology that allows you to see more subtle signal detail and more infrequent events than any other scope on the market.

Industry's biggest (12.1") screen

lets you see analog, digital and serial signals better – in one instrument.

Industry's only hardware accelerated serial decode

gives you faster insight.

- I²C, SPI and CAN/LIN
- RS-232/UART
- I²S
- Segmented memory

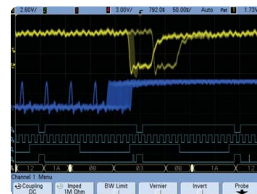
Fastest uncompromised update rate

shows you critical signal detail and infrequent events that other scopes miss.

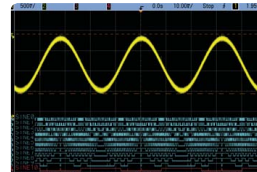
Powered by **MEGA Zoom III**

Plus

- DSO/MSO offline analysis using PC
- Core-assisted FPGA debug
- Power measurements
- Secure environment
- Localized user interface and front panel overlays available in Japanese, Simplified Chinese, and Traditional Chinese



See even the most elusive events with update rates as much as 5000 times better than comparative scopes.



Capture a mix of analog and digital signals. Compare multiple cycles of digital signals with slower analog phenomena.



Capture long streams of serial data and gain fast insight into the problem with real-time hardware-based serial decode for I²C, SPI, CAN, LIN, RS232/UART, I²S and USB.



Key specifications

Bandwidth	100 MHz, 350 MHz, 500 MHz, and 1 GHz models
Channels	2-ch, 4-ch, 2-ch + 16 digital, 4-ch + 16 digital
Sample rate	2 GSa/s (100 MHz – 350 MHz), 4 GSa/s (500 MHz – 1 GHz)
Memory	8 Mpts standard
Display	12.1" high-definition display with XGA resolution, 256 levels of intensity and 100,000 waveform/sec update rate
Triggering	Edge, pulse width, pattern, TV, duration, sequence, serial bus (I ² C, SPI, CAN, LIN, RS232/UART, I ² S and USB)
Warranty	Standard 3-year warranty



Agilent Technologies

Quick Fact Sheet

Order the mixed-signal oscilloscope (MSO) to add 16 digital timing channels to any 2- or 4-channel scope

Oscilloscope models

Model	Bandwidth	Sample rate	Memory depth	Scope channels
DSO/MSO 7012A	100 MHz	2 GSa/s	8 Mpts	2
DSO/MSO 7014A	100 MHz	2 GSa/s	8 Mpts	4
DSO/MSO 7032A	350 MHz	2 GSa/s	8 Mpts	2
DSO/MSO 7034A	350 MHz	2 GSa/s	8 Mpts	4
DSO/MSO 7052A	500 MHz	4 GSa/s	8 Mpts	2
DSO/MSO 7054A	500 MHz	4 GSa/s	8 Mpts	4
DSO/MSO 7104A	1 GHz	4 GSa/s	8 Mpts	4

Options and accessories

Model	Description
N2741A-002	2-ch 100 MHz DSO to MSO upgrade kit*
N2741A-004	4-ch 100 MHz DSO to MSO upgrade kit*
N2735A-002	2-ch 350 MHz DSO to MSO upgrade kit*
N2735A-004	4-ch 350 MHz DSO to MSO upgrade kit*
N2736A-002	2-ch 500 MHz DSO to MSO upgrade kit*
N2736A-004	4-ch 500 MHz DSO to MSO upgrade kit*
N2737A	1 GHz DSO to MSO upgrade kit*
SEC	Secure Environment Mode – Provides compliance with National Industrial Security Program Operating Manual (NISPOM) Chapter 8 requirements (factory-installed option only for new purchase)
A6J	ANSI Z540 compliant calibration
N2733A	Soft carrying case for 7000 Series oscilloscope
N2732A	Rackmount kit for 7000 Series oscilloscope
GemStar 5000	Transit case with foam molding customized for InfiniiVision 7000 Series available from GemStar Mfg. www.gemstarmfg.com
ABA**	English language option with manual
ABJ	Japanese language option with manual and overlay
AB2	Traditional and Simplified Chinese language option with manual and overlay

* Includes a 54620-68701 logic cable kit, a label and an upgrade license to activate the MSO features. Installs in less than 10 minutes.

** English is standard, or substitute an alternative language for manual and front panel overlay

Recommended service options

Additional two years of Return-to-Agilent warranty
Additional two years of Return-to-Agilent calibrations

For more information go to www.agilent.com/find/removealldoubt

Applications

Model	Description
AMS/N5424A	CAN/LIN automotive triggering and decode (for 4 and 4+16 channel models only)
LSS/N5423A	I ² C/SPI serial decode option (for 4 and 4+16 channel models only)
SND/N5468A	I ² S Triggering and decode for (for 4 channel DSO/MSO models only)
232/N5457A	RS-232/UART triggering and decode (for 4+16 channel models only)
N5406A	FPGA dynamic probe for Xilinx (MSO models only)
N5434A	FPGA dynamic probe for Altera (MSO models only)
B4610A	Offline viewing and analysis of MSO/DSO data on a PC
U1881A	Power measurement and analysis application
SGM/N5454A	Segmented memory
LMT/N5455A	Mask testing-limit

Recommended probes

Model	Key characteristics
10070C	1:1 20 MHz with probe ID
10073C	10:1 500 MHz with probe ID
10076A	100:1, 4 kV, 250 MHz probe with ID
N2771A	1000:1, 30 kV, 50 MHz probe
1156A	1.5 GHz AutoProbe interface
1130A	1.5 GHz InfiniiMax amplifier with AutoProbe interface (requires one or more InfiniiMax probe head – E2675A, E2668A, E2669A)
N2772A	20 MHz, 1.2 kVDC + peak AC max (requires N2773A power supply)
1141A	200 MHz, 200 VDC + peak AC max (requires 1142A power supply)
1146A	100 kHz, 100 A, AC/DC
1147A	50 MHz, 30 A, AC/DC with AutoProbe interface
N2783A	100 MHz, 30 A, AC/DC (use with N2779A power supply)

For more information on this and other Agilent scopes please visit www.agilent.com/find/7000

Product specifications and descriptions in this document subject to change without notice.

© Agilent Technologies, Inc. 2009, Printed in USA, September 25, 2009

5989-7738EN



Agilent Technologies

ANEMÓMETRO DIGITAL MANUAL DE INSTRUCCIONES

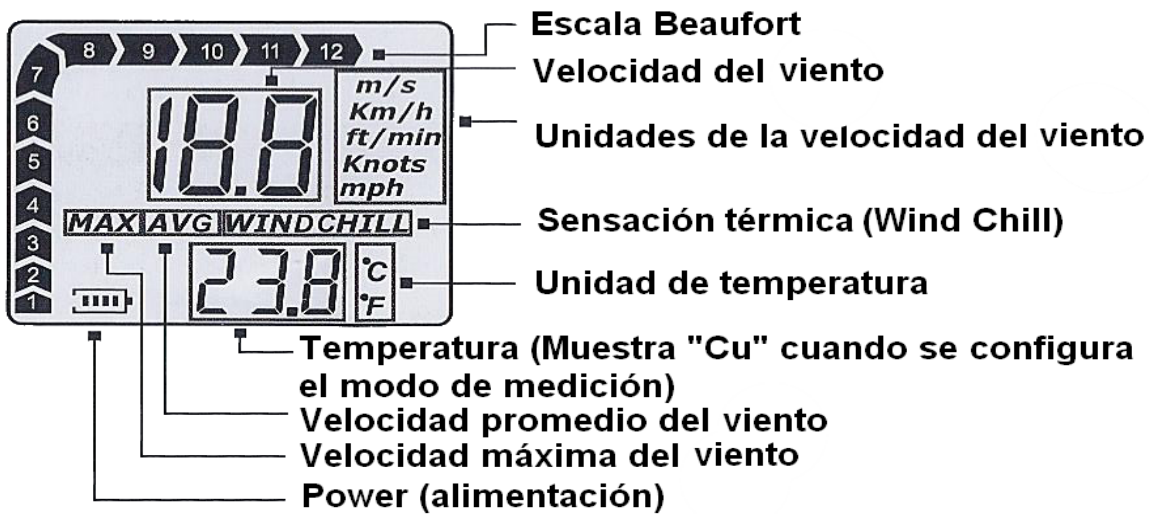


Versión: A0

A. FUNCIÓN

1. Medida de la temperatura y la velocidad del viento
2. Medida de la velocidad del viento Máxima/Promedio/Actual
3. Selección de la unidad de temperatura °C/°F
4. Cinco unidades para la velocidad del viento:
m/s, Km/h, pies/min (ft/min), nudos (Knots), milla por hora (mph)
5. Escala Beaufort
6. Pantalla retroiluminada (Backlight display)
7. Apagado Automático/Manual (Manual/Auto power shut off)
8. Indicación de sensación térmica (Wind chill indication)
9. Indicación de batería baja

B. PANTALLA LCD (LCD DISPLAY)



C. FUNCIONAMIENTO

1. Encendido: Presione el botón "MODE" por dos segundos para encender el anemómetro. El LCD mostrará la velocidad del viento, la temperatura y el icono de la batería. La luz del LCD durará for 12 segundos.
2. Configuración del modo de medida y la unidad de la velocidad del viento: Presione el botón "MODE" por mas de 3 segundos hasta que "m/s" comience a parpadear. Presione el botón "SET" para seleccionar la unidad para la velocidad del viento. Para confirmar la unidad, presione el botón "MODE". Para configurar el modo MAX/AVG/CU, presione el botón "SET" varias veces hasta que CU/MAX/AVG parpadee, luego presione el botón "MODE" para confirmar.
 - 1). La configuración será almacenada cuando apague el anemómetro digital. Pero si se cambia la batería, la configuración retornará a la configuración de fábrica.
 - 2). Unidades de la velocidad del viento: m/s, Km/h, pies/min (ft/min), nudos (Knots), milla por hora (mph).
 - 3). Modo de medida:
CU: Velocidad actual del viento ; MAX: Velocidad máxima del viento
AVG: Velocidad promedio del viento.

3. Configuración de las unidades de temperatura: La tecla del swiche de temperatura (°C/°F) se encuentra oculta en la parte trasera, por favor use un pequeño clip para presionar esta tecla para conversión de °C/°F.
4. Iluminación de la pantalla: La iluminación de la pantalla se activará por 12 segundos al presionar cualquier tecla.
5. Medida: cuando la hélice (impulsor) gire, el LCD instantaneamente mostrará la velocidad del viento, temperatura, y la escala beaufort. Cuando la temperatura sea inferior a 0°C , en el LCD se mostrará "WIND CHIU".
6. Apagado: Presione los botones "MODE" y "SET" al mismo tiempo para apagar el anemómetro digital.
7. Autoapagado: El anemómetro digital se apagará si no hay operación por 14 minutos
8. Cambio de batería: Cuando el símbolo "☐" se muestre en el LCD, por favor reemplace la batería.

D. ESPECIFICACIÓN

A. Velocidad del viento				
Unidad	Rango	Resolución	Umbral (Threshold)	Precisión
M/s	0~30	0.1	0.1	± 5%
Pies/min (Ft/min)	0~5860	19	39	
Nudos (Knots)	0~55	0.2	0.1	
Km/hr	0~90	0.3	0.3	
Mph	0~65	0.2	0.2	
B. Temperatura				
Unidad	Rango	Resolución	Precisión	
°C	-10°C~+45°C	0.2	±2°C	
°F	14°F~113°F	0.36	±3.6°F	
Batería		CR2032 3.0V (Incluida)		
Termómetro		Termómetro NTC		
Temperatura de funcionamiento		-10°C~+45°C (14°F~113°F)		
Humedad		Menor de 90% RH		
Temperatura de almacenamiento		-40°C~+60°C (-40°F~140°F)		
Consumo de corriente		Aproximadamente 3mA		
Peso		58.9g (Incluyendo la batería)		
Dimensiones		104.3 x 57.8 x 19.9mm		



HECHO EN CHINA

June 2009

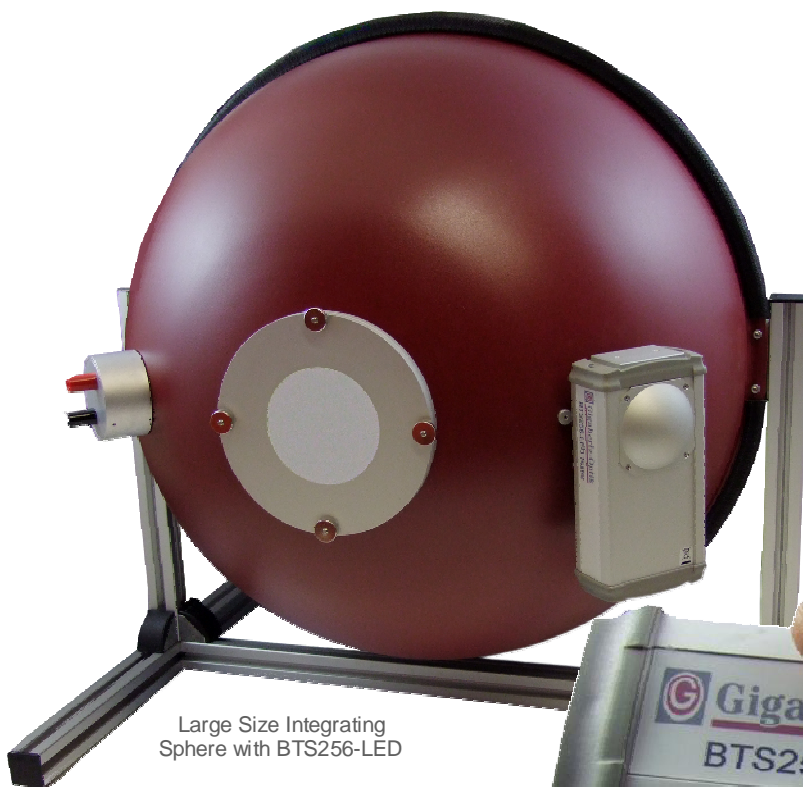


Gigahertz-Optik

Measurement *of* Light
Measurement *with* Light

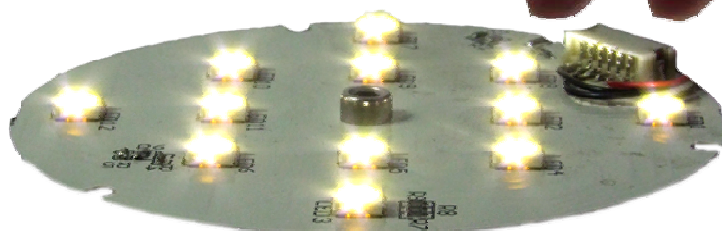
BTS256-LED Tester

Light Analyzer
for
Luminous Flux & Illuminance
Spectral Distribution & Color
of
Single LEDs, LED Modules
LED Luminaires
and other Light Sources



Large Size Integrating
Sphere with BTS256-LED

BTS256-LED Tester



BTS256-LED Application: LED Matrix Uniformity Measurement

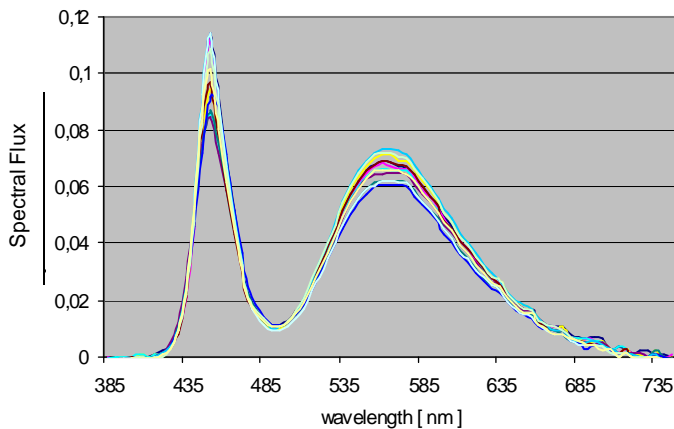


Measurement of Individual LEDs in LED Module

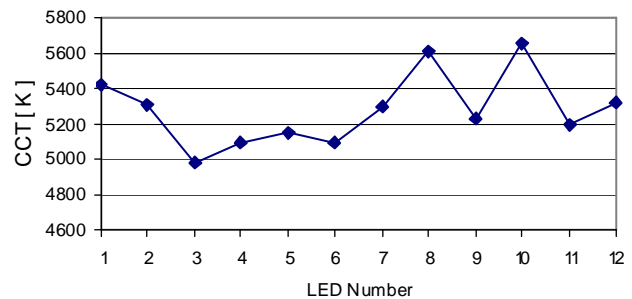
LED modules are made from a matrix of single LEDs mounted on one common carrier. In applications where the human eye will perceive the individual LED within the matrix the uniformity of the LEDs becomes important.

Color uniformity takes top priority due to the human eyes sensitivity to any color differences of LEDs in neighboring positions. The most common specification for color uniformity measurements is the color temperature specified in Kelvin. Also the spectral shape or color rendering index uniformity can be of interest. Luminous flux uniformity is not a high priority especially with high intensity LEDs. This is because the human eye is not able to compare intensities very well at higher intensity levels.

The measurement itself is done in the BTS256-LED snapshot mode where all the data from any measurements are stored in one ASCII file. At the end of the measurement the data can be imported into Excel or other available software for numeric or graphic presentation



Uniformity of Spectral Flux



Uniformity of Color Temperature

	Ra	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
LED1	64,48	59,71	73,69	79,16	59,72	59,81	58,17	78,39	47,16	0,00	33,20	48,31	26,06	62,58	88,14
LED2	63,86	58,72	73,09	79,24	58,99	58,91	57,57	78,19	46,13	0,00	32,20	47,48	24,82	61,61	88,20
LED3	61,75	55,46	71,39	79,84	55,87	55,25	54,59	78,72	42,86	0,00	29,05	43,39	17,69	58,66	88,65
LED4	62,42	56,19	71,80	80,09	57,35	56,88	56,76	77,54	42,77	0,00	30,36	45,68	24,98	59,22	88,69
LED5	63,04	57,25	72,28	79,87	58,28	57,84	57,25	77,67	43,90	0,00	31,12	46,77	26,23	60,17	88,55
LED6	62,03	55,80	71,44	79,76	56,99	56,39	56,05	77,39	42,39	0,00	29,53	45,31	22,80	58,82	88,54
LED7	63,84	58,28	73,35	80,41	58,61	58,76	58,30	78,07	44,90	0,00	33,18	47,12	27,12	61,39	88,87
LED8	65,24	60,28	75,04	80,69	59,61	60,54	59,85	78,73	47,19	0,00	36,22	48,35	28,78	63,65	89,05
LED9	62,43	57,02	71,78	78,50	57,66	57,31	55,83	77,30	44,06	0,00	29,33	45,76	22,96	59,87	87,78
LED10	64,82	61,00	73,82	77,47	60,74	60,87	57,51	78,13	49,03	0,00	32,49	49,29	26,03	63,64	87,14
LED11	62,11	56,10	71,59	79,34	57,05	56,63	55,99	77,39	42,77	0,00	29,49	45,32	22,56	59,18	88,29
LED12	63,19	57,91	72,46	78,97	58,65	58,36	56,91	77,52	44,74	0,00	30,91	47,19	25,00	60,80	88,06

Tabular with Numerical Data of Color Rendering Index Uniformity (CRI Values in %)

Specifications BTS256-LED Tester	
Sensor Design	BiTech Sensor with fine photometric matching photodiode and 256 pixel CMOS photodiode array. Integrated shutter for remote controlled offset compensation.
Integral Sensor	Integration time setting from 100 μ s to 6s. Seven (7) measurement ranges with correction range transcendent offset correction. 12Bit SAE ADC
	Spectral response with fine CIE photometric matching. On-line correction by spectral source data
	Luminous flux resolution 0.1mlm; Max luminous flux value 10000lm
Spectral Sensor	Integration time setting from 5.2ms to 30s. Shutter delay 100ms open state, 100ms close state
	Spectral range 380 to 750nm. Pixel resolution 1.5nm. Other resolutions by interpolation or integration
	Luminous flux measurement range (white light):
	<ul style="list-style-type: none"> Minimum signal 200mlm [With 30s maximum integration time a flux of about 4mlm](200mlm/30s) can be measured] Maximum signal 2500lm (5.2ms integration time)
	Peak wavelength: +/- 1nm
	Dominant wavelength: +/- 1nm
	Δ x, Δ y reproducibility: Standard Illuminant A +/-0.0001, LEDs +/- 0.0002
	Δ x, Δ y uncertainty: Standard Illuminant A +/-0.005, LED +/- 0.005 average, max +/-0.01
	CCT Measurement range: 1700 to 17000 K
	Δ CCT: Standard Illuminant A 50K; LED up to +/-6K depending of LED spectrum
Color Rendering Index Ra and R1 to R14	
Integrating Sphere	50mm diameter with ODM98 coating. Sealed window at sphere output port. Cone adapter with rugged type ODP97 coating. Cone adapter measurement aperture diameter 10mm.
	White LED auxiliary lamp. AUX LED delay 1ms. LED current peak max 350mA capacitance supported
	Cone adapter exchange effect within +/- 0.5%
	xy DUT position error within cone adapter max. +/- 2%
	z axis DUT position error within cone adapter max. +/-2% (1 to 11mm)
Microcontroller	16Bit, 25ns instruction cycle time
Power	5VDC to 7VDC, 250mA peak during aux lamp capacitance loading
Remote interface	RS232: 115200Baud, 8D, IS, N; 9PIN SUBD connector with PIN for DC voltage USB to RS232 converter with DC voltage transfer function from PC USB PC software with software manual
Temperature	Operating: 10 to 30 $^{\circ}$ C Storage: -10 to 50 $^{\circ}$ C
Dimensions/Weight	160mm (6.3 in) L x 85mm (3.3) W x 60mm (2.4 in) H. Weight: 500g (1.1 lb)

Specifications: BTS256-LED Tester Accessory

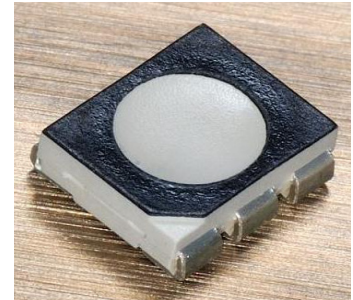
UMBB-210-BTS256-LED 210mm diameter integrating sphere 1)	Measurement range integral sensor: ca. 5mlm to 50000lm ²)
	Spectral sensor: ca. 160mlm to 130000lm ²) @ diode array measurement time 30s to 5.2ms
	Max measurement port diameter 63.5mm / 2.5 inch Port reducer 50.8mm / 2 inch diameter (used for calibration purpose)
UMBB-500-BTS256-LED UMBB-500-HF-BTS256-LED 500mm diameter integrating sphere 1)	Measurement range integral sensor: ca. 25mlm to 250000lm ²)
	Spectral sensor: ca. 1lm to 650000lm ²) @ diode array measurement time 30s to 5.2ms
	Max measurement port diameter 127mm / 5 inch Port reducer 75mm / 3 inch diameter (used for calibration purpose)
BTS256-LED-DA Illuminance Adapter	Measurement range integral sensor: ca. 1lx to tbc lx; Spectral sensor: 10lx to tbc lx Cosine function within +/- 25 $^{\circ}$

1) All integrating spheres supplied with auxiliary lamp and traceable calibration of luminous flux and spectral flux sensitivity in combination with BTS256-LED with calibration certificate. The BTH-19-D-BTS256-LED power supply is recommended.

2) Maximum measurable flux is not only limited by detector and amplifier dynamic range. Heat generated by the source under test can also limit measurement range. Stated specifications exclude range limitations caused by varying ambient conditions!

Cree® PLCC6 3 in 1 SMD LED CLP6C-FKB Data Sheet

Cree PLCC full-color LEDs offer high-intensity light output and a wide viewing angle in an industry-standard package. Designed to work in a wide array of environmental conditions, Cree PLCC full-color LEDs are suited for indoor video screen, decorative lighting and amusement applications.



FEATURES

- Size (mm): 6.0 x 5.0
- Dominant Wavelength (nm):
Red (619-624)
Green (520-540)
Blue (460-480)
- Luminous Intensity (mcd)
Red (560-1120)
Green (1120-2240)
Blue (280-560)
- Lead-Free
- Viewing Angle: 120 degree
- RoHS Compliant

APPLICATIONS

- Full-Color Video Screen
- Decorative lighting
- Amusement



Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Items	Symbol	Absolute Maximum Rating			Unit
		R	G	B	
Forward Current ^{Note 1}	I_F	50	50	50	mA
Peak Forward Current ^{Note 2}	I_{FP}	200	100	100	mA
Reverse Voltage	V_R	5	5	5	V
Power Dissipation	P_D	130	200	200	mW
Operation Temperature	T_{opr}	-40 ~ +100			$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}	-40 ~ +100			$^\circ\text{C}$
Junction Temperature	T_J	110	110	110	$^\circ\text{C}$
Junction/ambient 1 chip on	R_{THJA}	450	400	450	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction/ambient 3 chips on	R_{THJA}	650	580	680	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction/solder point 1 chip on	R_{THJS}	300	280	300	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Junction/solder point 3 chips on	R_{THJS}	450	430	480	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Electrostatic Discharge Classification(MIL-STD-883E)	ESD	1000 V			

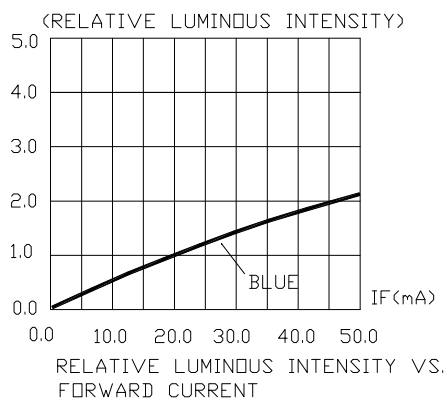
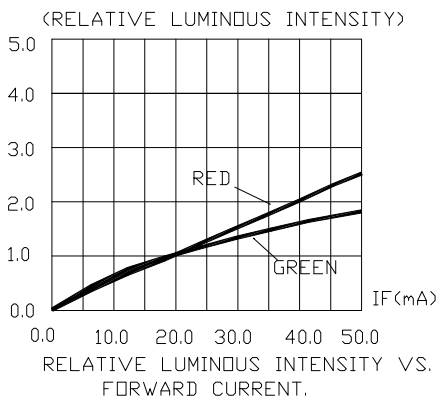
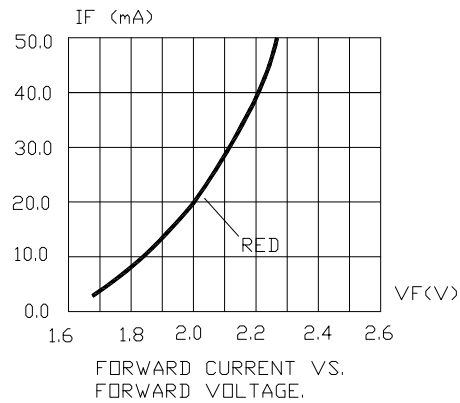
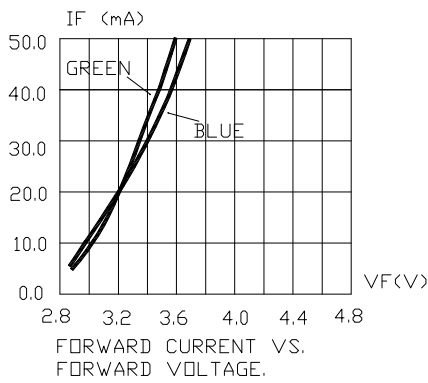
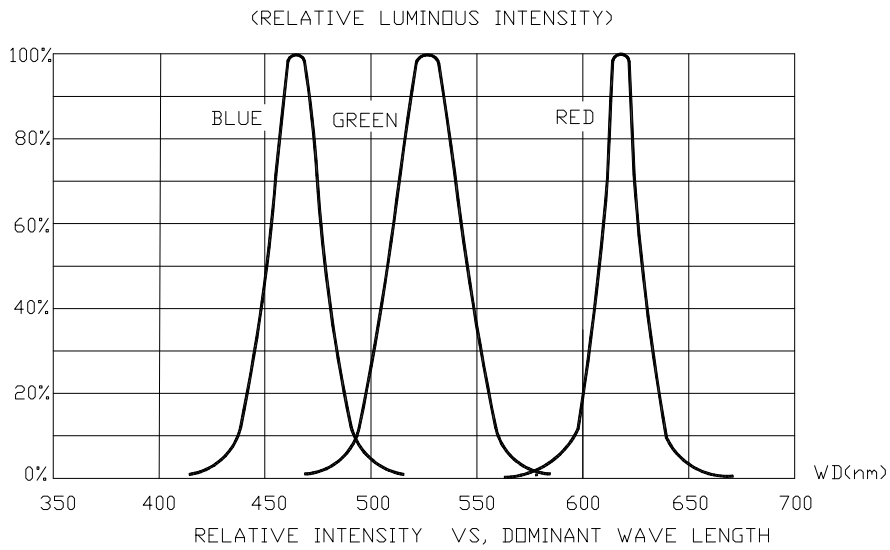
Note:

1. Single-color light.
2. Pulse width ≤ 0.1 msec, duty $\leq 1/10$.

Typical Electrical & Optical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

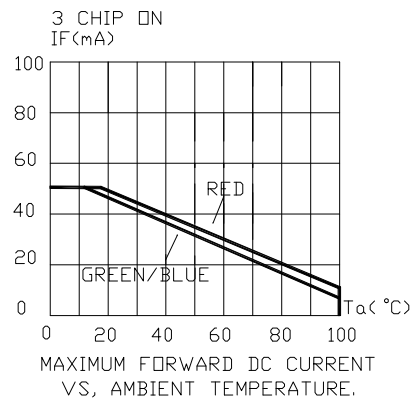
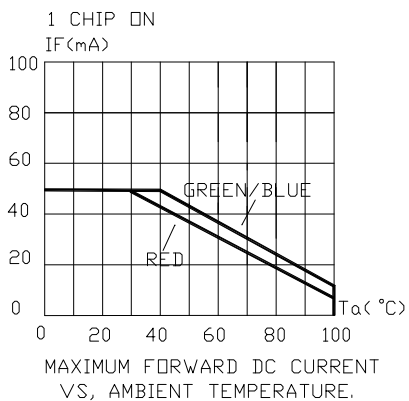
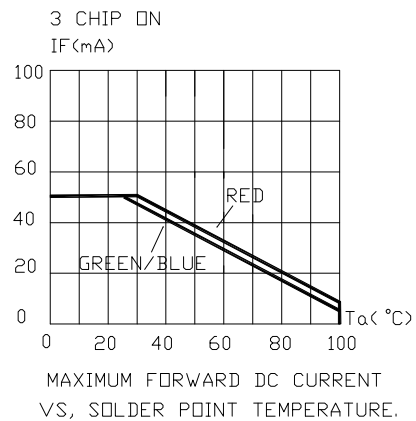
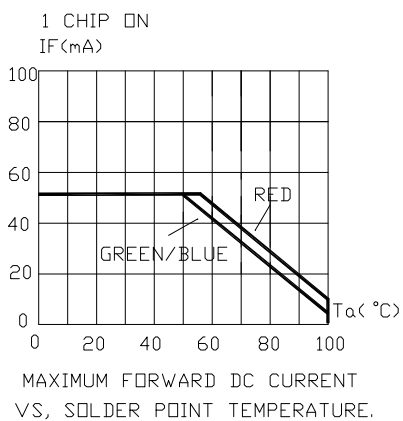
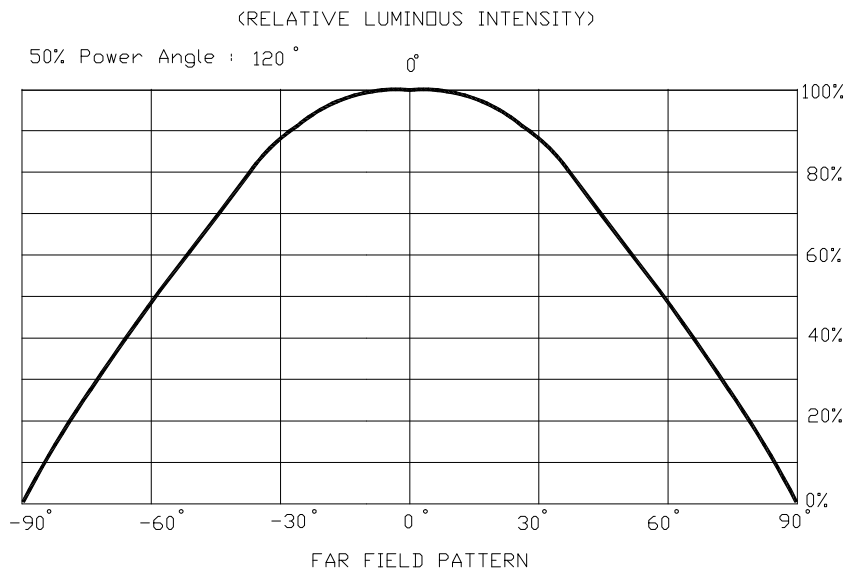
Characteristics	Condition	Symbol	Values			Unit
			R	G	B	
Wavelength at peak emission	$I_F = 20$ mA	λ_{PEAK}	630	527	470	nm
Dominant Wavelength	$I_F = 20$ mA	λ_{DOM}	619~624	520~540	460~480	nm
Spectral bandwidth at 50% I_{REL} max	$I_F = 20$ mA	$\Delta \lambda$	24	38	28	nm
Viewing Angle at 50% I_V	$I_F = 20$ mA	$2\theta_{1/2}$	120	120	120	deg
Forward Voltage	$I_F = 20$ mA	$V_{F(avg)}$	2.0	3.2	3.2	V
		$V_{F(max)}$	2.6	4.0	4.0	V
Luminous Intensity	$I_F = 20$ mA	$I_{V(min)}$	560	1120	280	mcd
		$I_{V(avg)}$	700	1600	400	mcd
Reverse Current (max)	$V_R = 5$ V	I_R	10	10	10	μA

Graphs



The above data are collected from statistical figures that do not necessarily correspond to the actual parameters of each single LED. Hence, these data will be changed without further notice.

Graphs



The above data are collected from statistical figures that do not necessarily correspond to the actual parameters of each single LED. Hence, these data will be changed without further notice.

EHEIM

pickUp
system



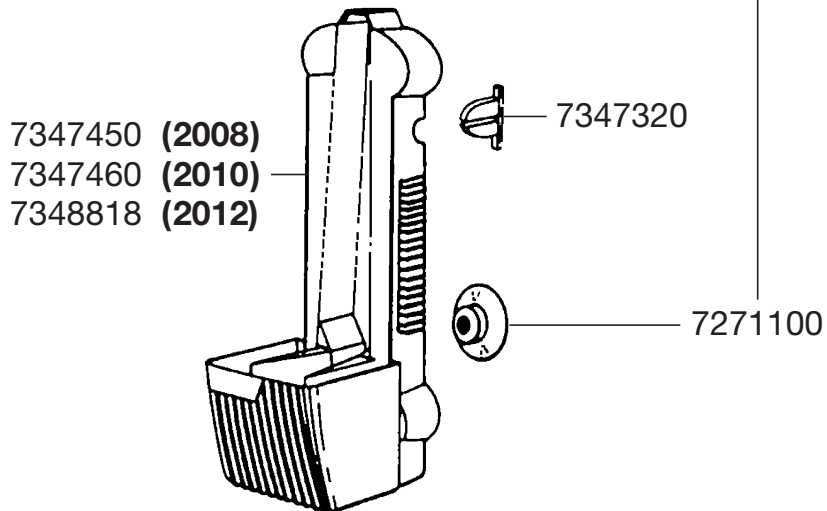
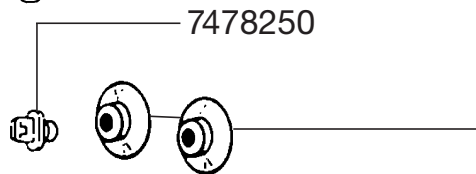
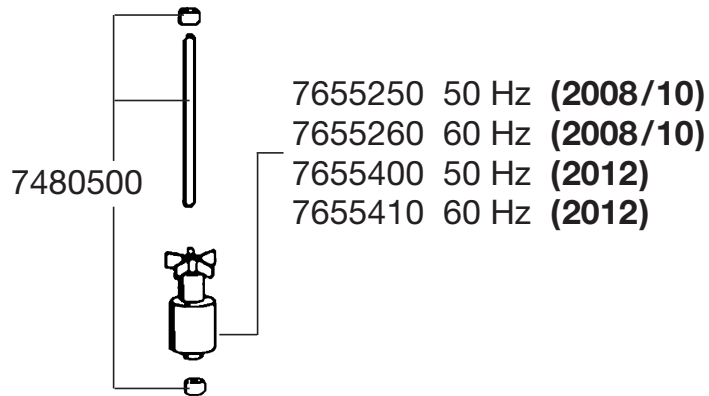
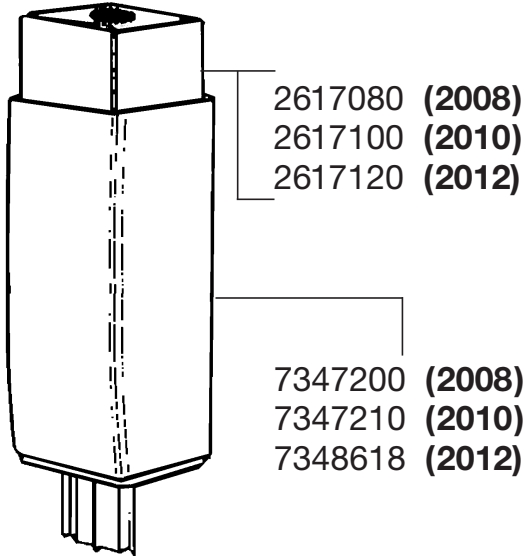
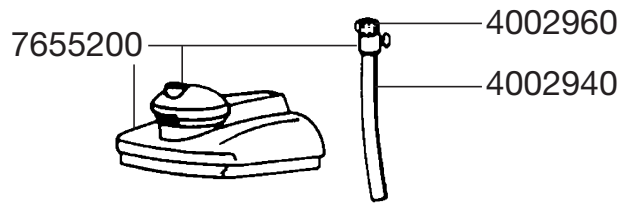
2008

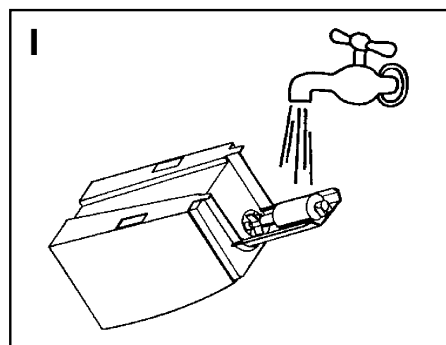
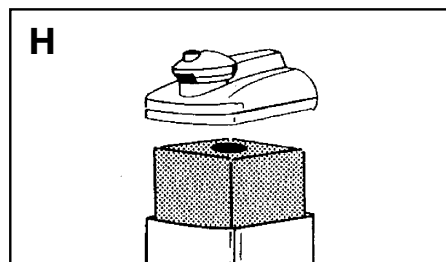
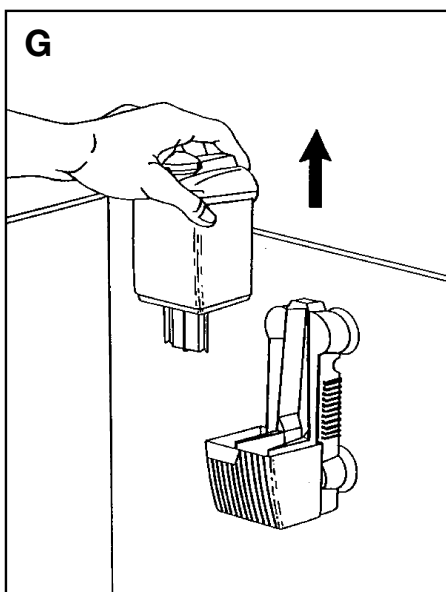
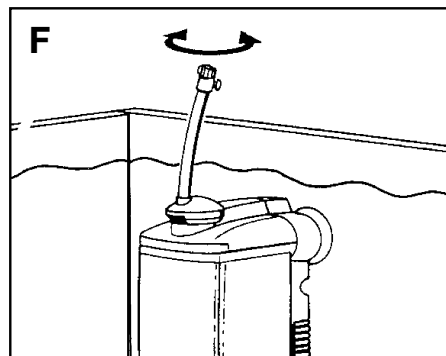
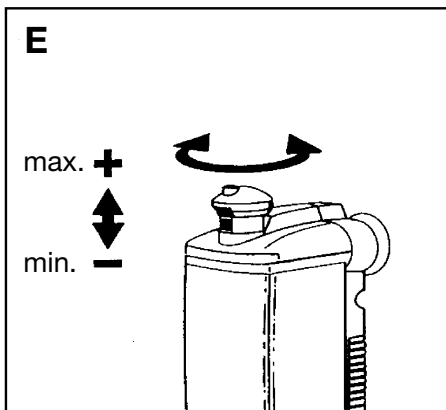
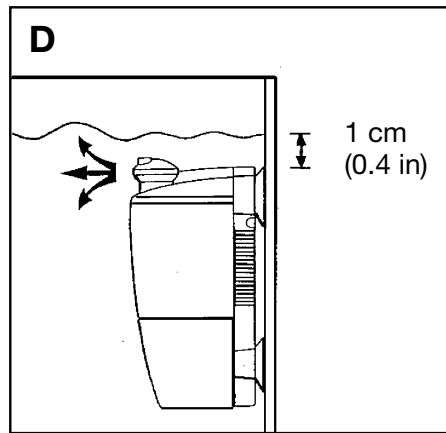
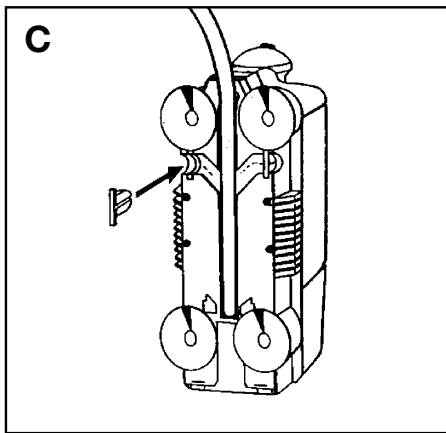
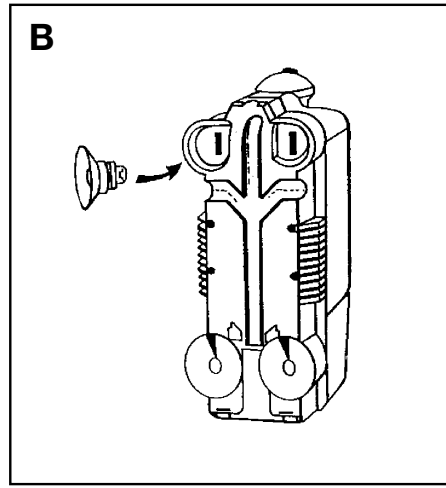
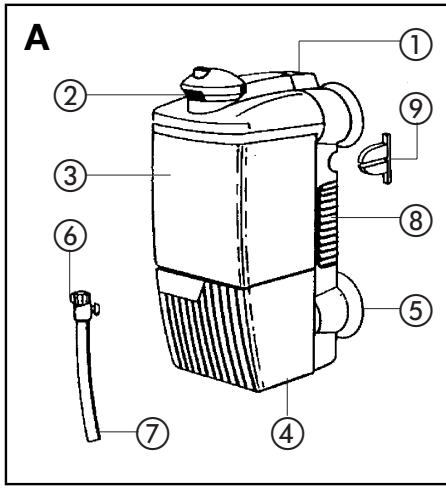
2010

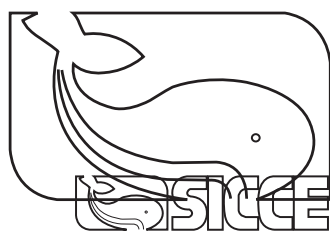
2012

Innenfilter	D
Internal filter	GB/USA
Filtre intérieur	F
Binnenfilter	NL
Innerfilter	S
Innvendig filter	N
Sisäsuodatin	FIN
Indvendigt filter	DK
Filtro interno	I
Filtro interior	E
Filtro interior	P
Εσωτερικό φίλτρο	GR
Vnitřní filtr	CZ
Belső szűrő	HU
Filtru interior	RO
Filtr wewnętrzny	PL
Vnútorný filter	SK
Notranji filter	SLO
Внутренний фильтр	RUS
內置式過濾器	CHIN

2008/2010/2012



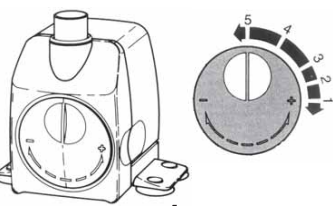




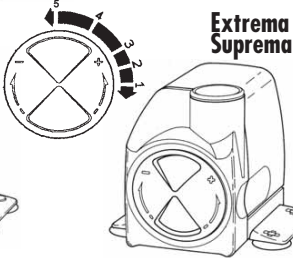
NOVA IDRA EXTREMA SUPREMA

- EN** INSTRUCTIONS
- E** INSTRUCCIONES
- N** BRUKSANVISNING
- S** BRUKSANVISNING
- I** ISTRUZIONI
- F** INSTRUCCIONES
- P** INSTRUCOES
- FIN** OHJEET
- D** EINLEITUNG
- NL** INSTRUCTIES
- DK** BRUGSANVISNING

Nova



Idra



Extrema Suprema

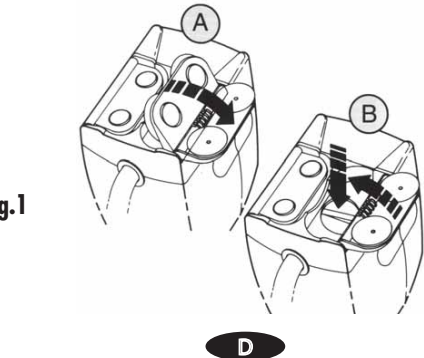


Fig. 1

SICHERHEITSVORSCHRIFTEN

Vor jedem Eingriff an der Pumpe, die Stromversorgung aller elektrischen, im Wasser eingetauchten Apparate abschalten. Diese Pumpe ist ausschließlich für den Innen-Gebrauch. Nicht installieren, wenn Kabel oder Pumpe in irgendeiner Weise defekt erscheinen. Das Produkt entspricht den aktuellen Normen zur Sicherheit. Die auf der Pumpe aufgedruckte Spannung kontrollieren und sicherstellen, daß sie mit der Netzspannung übereinstimmt. Die Anschlußleitung dieses Gerätes kann nicht ersetzt werden; bei Beschädigung der Leitung sollte das Gerät weggeworfen werden.

NUR ZUR VERWENDUNG IN RÄUMEN FUER AQUARIEN UND ZIMMERBRUNNEN. NUR ZUR VERWENDUNG FÜR FLÜSSIGKEITEN BIS ZU EINER TEMPERATUR VON 35° C!

GEBRAUCH UND REGULIERUNG

Für ein korrektes Funktionieren empfehlen wir eine Mindestwasserhöhe von ca. 2 cm. An die Pumpe kann man sowohl biegbare Rohre, Ø 12x16 – mittles eines in der Ausstattung gelieferten Paßstückes – als auch starre Rohre, Ø 13 mm, anschließen (Abb. 2). Die Wasserausleitung kann variiert werden, indem man den Flußregler betätigt, der je nach Verwendungsbedarf, ein müheloses und genaues Dosieren erlaubt (Abb. 1).

WARTUNG

Die MICRA ist eine Kreiselpumpe mit Magnetantrieb, die von einem Dicht-Synchronmotor bewegt wird. Sie erfordert eine minimale, jedoch für das korrekte Funktionieren wichtige Wartung. Die Pumpe ist mit einem kleinen Filter (Abb. 3) ausgestattet, der in regelmäßigen Abständen gesäubert werden muß oder aber, wenn sich der Wasserdurchfluß extrem verringern sollte. Zur Säuberung ist es ausreichend, das Silbrenett (Abb. 3) abzunehmen und das Filtermaterial zu spülen. Bei kalkartiger Ablagerung bzw. Verschmutzung entfernen Sie nun das Flueglerad und reinigen dieses, sowie den Innenraum, sanft mit einer kleinen Bürste. Zur Reinigung des Innenraumes entfernen Sie die Metallachse durch einfaches Herausziehen. Beachten Sie beim Wiedereinsetzen der Achse darauf, dass diese fußbar einrastet. Bei dem Flueglerad ist darauf zu achten, dass fußbar auf dem Flueglerad einrastet, so dass sich der Rotor um frei drehen lässt. Alle drei Monate die verbleibenden Teile in lauwarmem Wasser waschen, dabei vorsichtig die kalkartigen Ablagerungen entfernen. Für das Wiedereinsetzen in umgekehrter Reihenfolge vorgehen.

GARANTIE

Dieses Produkt hat vom Kauf an eine Garantie von 24 Monaten für Defekte am Material oder der Konstruktionsweise. Der Garantieschein muss vom Verkäufer vollständig ausgefüllt werden und dem Apparat unbedingt beigelegt werden falls er zur Reparatur zurückgegeben werden sollte. Die Garantie besteht in dem garantierten Auswechseln der fehlerhaften Teile.

Diese Garantie ist weder im Falle eines uneigentlichen Gebrauchs noch gültig, noch entspricht sie Schäden, die durch Verletzung oder Fahrlässigkeit von seiten des Käufers verursacht wurden. Wenn sie die Garantie beanspruchen wollen, dann geben Sie bitte den Apparat mit dem entsprechenden Kaufschein und Kaufdatum zurück.

Versand- und Rücksendungskosten gehen zu Lasten des Käufers

Fig. 2

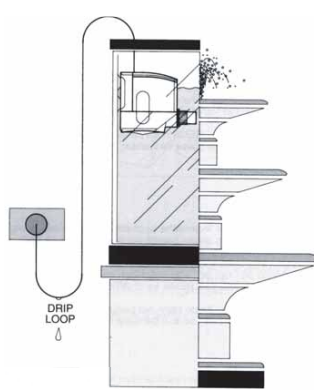
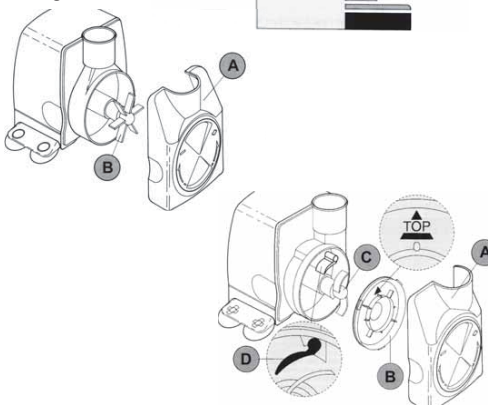


Fig. 3



SAFETY NORMS

Thank you to have bought your new pump for aquarium, basin for turtles and small fountains. To you, dear client, the pleasure to use it in the best way! Before handling the pump, turn off electrical power of any equipment immersed in water. This pump is acceptable for indoor use only. Do not install it if either cable or pump are damaged in some way. Check the voltage on the pump and make sure that it corresponds to the electricity power in the electric system. The cable of this pump cannot be replaced; if it is damaged, the appliance should be discarded. DO NOT RUN DRY. THE PUMP CANNOT BE USED IN LIQUIDS WITH TEMPERATURES HIGHER THAN 35°C. WARNING - Do not run dry - To reduce the risk of electrical shock, use only on portable self-contained fountains no larger than 5 feet in any dimension. This pump is supplied with a grounding conductor and grounding-type attachment plug. To reduce risk of shock, be certain that it is connected only to a grounding-type receptacle.

USE AND REGULATION

For a correct functioning, the pump must be completely immersed or positioned so the water is not below the suction grids (Pict.2). In aquarium use, before fixing the pump, clean accurately the glass in the area where the suckers will be attached. The water flow can be varied using the flow regulator according to the appliance and water volume (Pict. 1). The pump can be connected with either flexible tubes (12x16mm) or rigid (13mm) through the provided adapter (Pict. 2). WARNING - These pumps can be used only with water.

MAINTENANCE

NOVA_IDRA_EXTREMA_SUPREMA are magnetic driven centrifugal pump powered by a synchronous motor. The maintenance needs are minimal but important for their correct functioning. These pumps are provided with a small filter which has to be periodically cleaned or when the water flow may diminish too much. For regular cleaning, simply remove the prechamber (Pict. 3) and rinse the filtering material. Every 2 months, delicately extract the rotor and rinse the components with warm water removing any calcium deposits. Reassemble everything in reverse order.

GARANTEE

This product is guaranteed for a period of 24 months from date of purchase for material or manufacturing defects. Certificate of guarantee must filled out completely by resale dealer and must accompany equipment along with the receipt, in case it is submitted for repair. Guarantee consists in guaranteed substitution of defective parts.

Guarantee is considered void in case of improper use, nor does it answer to damages caused by improper handling or negligence on the part of the buyer. All equipment must be sent postage paid.

E

NORMAS DE SEGURIDAD

Antes de efectuar cualquier intervención en la bomba, desconectar la corriente eléctrica de todos los aparatos eléctricos sumergidos en el agua. Esta bomba se utilizará exclusivamente en interiores. No hay que instalarla, si resulta dañada la bomba o el cable. No es posible sustituir el cable de alimentación de este aparato, por lo que si se estropea, hay que demoler el aparato. Este producto cumple las actuales normas de seguridad. Comprobar que el voltaje grabado en la bomba corresponda a la tensión de la red. LA BOMBA NO DEBERA FUNCIONAR EN SECO Y PODRA SER UTILIZADA EN LIQUIDOS CON TEMPERATURA NO SUPERIOR A 35° C!

USO Y REGULACION

Para el correcto funcionamiento se aconseja una altura mínima del agua de cerca de 2 cm. Se pueden conectar a la bomba manguitos de Ø 12x16, usando el adaptador en equipamiento, así como tubos rígidos de Ø 13 mm. (Fig. 2). Se puede modificar el caudal de agua, a través del regulador de flujo, que permite dosificar con precisión y facilidad según las exigencias (fig. 1).

MANTENIMIENTO

MICRA es una bomba centrífuga con arrastre magnético, accionado con un motor síncrono con junta estanca. Requiere mantenimiento mínimo pero importante para el buen funcionamiento. La bomba está dotada de un pequeño filtro (Fig. 3) que hay que limpiar a intervalos regulares, o en el caso de que el flujo de agua disminuya excesivamente. Para ello, basta quitar la parte frontal (Fig. 3) y aclarar el material filtrante. Remontar siguiendo el orden inverso. Hay que lavar cada 3 meses las otras partes con agua templada, quitando delicadamente los depósitos calcáreos.

GARANTIA

Este producto está garantizado por un periodo de 24 meses a partir de la fecha de compra, contra defectos del material o de fabricación.

El revendedor cumplimentará debidamente el certificado de garantía, que se entregará con el aparato en caso de sustitución para su reparación.

La garantía ampara la sustitución de las partes defectuosas y no será válida en caso de uso impropio. No se responderá de los daños ocasionados por manipulaciones indebidas o negligencia por parte del comprador. Para la aplicación de la garantía, restituir el aparato junto al recibo de compra o similar. Los gastos de envío y restitución correrán a cargo del comprador.

ATTENZIONE! ATTENZIONE! ACHTUNG! LET OP! ATTENTION! ATTENCIÓN! ATENÇÃO! OBSERVA! VAROITUS! OBS!

- I** Nel caso la pompa o il filtro siano forniti con cavo 10 metri di lunghezza oppure con cavo di misura superiore a 6 piedi per il tipo americano (USA), questi apparecchi sono per uso esterno come prescrive la normativa internazionale.
- EN** If the pump or the filter is supplied with a cable 10 metres long, or a cable more than 6 feet long for the American type (USA), these appliances are intended for outdoor use as required by international standards.
- D** Falls die Pumpe oder der Filter mit einem Kabel von 10 Meter Länge, beziehungsweise mit einem Kabel von mehr als 6 Fuß Länge beim amerikanischen Typ (USA), geliefert werden, sind diese Geräte für den Einsatz im Außenbereich bestimmt, wie von den internationalen Normen vorgeschrieben.
- E** En el caso de que se envíen la bomba o el filtro con un cable de 10 metros de longitud, o con cable de más de 6 pies para el tipo americano (EE UU), significa que dichos aparatos se utilizarán externamente, como establece la normativa internacional.
- F** Si la pompe ou le filtre sont fournis avec un câble de 10 mètres de longueur ou avec un câble d'une longueur supérieure à 6 pieds pour le type américain (USA), ces appareils sont adaptés à l'emploi à l'extérieur comme le prescrit la réglementation internationale.
- NL** In het geval de pomp of het filter zijn uitgerust met een kabel van 10 meter, of met een kabel van meer dan 6 voet voor het Amerikaanse (USA) type, zijn de apparaten bestemd voor gebruik buitenshuis, overeenkomstig de voorschriften van de internationale richtlijnen.
- P** No caso em que a bomba o o filtro sejam fornecidos com cabo de 10 metros de comprimento ou com cabo de medida superior a 6 pés para o tipo americano (EUA), estes aparelhos são destinados a utilização no exterior como indicado pela normativa internacional.
- DK** Hvis pumpen eller filtrene leveres med en ledning på 10 m eller med en ledning på mere end 6 fod (USA), er apparaterne fremstillet til brug udendørs som foreskrevet i den internationale standard.
- S** Om pumpen eller filtret levereras med 10 m lång kabel, eller med minst 6 fot lång kabel för amerikansk typ (USA), är dessa utrustningar avsedda för utomhusbruk enligt internationell standard.
- FIN** Mikäli pumpattu tai suodatin on toimitettu 10 metriä pitkällä johdolla tai yli 6 jalkaa pitkällä johdolla Yhdysvaltalaisissa (USA) verstoissa, ne on tarkoitettu ulkoikäyttöön kansainvälisten normien vaatimusten mukaisesti.

FOR U.K. ONLY IMPORTANT - The wires in this main lead are coloured in accordance with the following code: Blue-Neutral/Brown-Live. If the colours of the wires of the main lead of this appliance does not correspond with the coloured markings identifying the terminals in your plug, connect as follows: the wire coloured BROWN must be connected to the terminal marked L or coloured RED; the wire coloured BLUE must be connected to the terminal marked N or coloured BLACK. CAUTION - The BROWN or BLUE leads must NEVER be connected to the earth terminal (marked E or GREEN/YELLOW) of a three pin plug.

NORME DI SICUREZZA

Grazie per aver acquistato la Vostra nuova pompa Sice per acquari, tartarughiere, terrari e fontanelle. A Lei, caro cliente, il piacere di utilizzarla al meglio! Prima di qualunque intervento sulla pompa, staccare il cavo di alimentazione della stessa e di tutti gli apparecchi elettrici eventualmente immersi in acqua. La pompa è per esclusivo uso esterno come prescrive la normativa internazionale, qualora sia provvista di cavo 10m o superiore a 6 piedi (UK-USA). Non installare se il cavo o la pompa dovessero in qualche modo risultare danneggiati. Il cavo di alimentazione di questo apparecchio non può essere sostituito. In caso di danneggiamento l'apparecchio deve essere gettato. Il prodotto è conforme alle attuali norme di sicurezza. Controllare il voltaggio stampato sulla pompa ed accertarsene corrisponda alla tensione di rete. LA POMPA NON DEVE FUNZIONARE SENZA ACQUA. LA POMPA NON PUÒ ESSERE UTILIZZATA IN LIQUIDI LA CUI TEMPERATURA SUPERI I 35°C.

USO E REGOLAZIONE

Per un corretto funzionamento, la pompa deve essere completamente immersa o posizionata in modo tale che l'acqua non scenda mai sotto le griglie di aspirazione (Fig. 2). Nel caso di uso in acquario, prima di fissare la pompa, pulire accuratamente il vetro in corrispondenza della zona di attacco delle ventose. La portata dell'acqua può essere variata agendo sul regolatore di flusso che consente un agevole e preciso dosaggio a seconda delle necessità (Fig. 1). Alla pompa si possono connettere sia tubi flessibili (12x16mm) che rigidi (13mm) tramite il tubetto adattatore fornito in dotazione (Fig. 2).

MANUTENZIONE

MICRA e MICRA PLUS sono pompe centrifughe a trascinamento magnetico azionate da un motore sincrono a tenuta stagna. Richiedono una manutenzione minima ma importante per il corretto funzionamento. Entrambe le pompe sono dotate di un piccolo filtro che deve essere pulito periodicamente ovvero quando il flusso dell'acqua dovesse diminuire eccessivamente. Per la pulizia è sufficiente togliere il frontolino (Fig. 3) e sciocquare il materiale filtrante. Ogni 2 mesi estrarre delicatamente anche il rotore e lavare i componenti con acqua tiepida rimuovendo eventuali depositi calcarei. Rimontare il tutto in ordine inverso.

GARANZIA

Questo prodotto è garantito per un periodo di 24 mesi dalla data di acquisto, da difetti di materiale o lavorazione.

Il certificato di garanzia deve essere compilato in ogni sua parte dal rivenditore e dovrà accompagnare l'apparecchio nel caso in cui venga restituito per la riparazione. La garanzia consiste nella sostituzione garantita delle parti difettose. Questa garanzia non è valida in caso di uso improprio, né risponde di danni causati da manomissione o negligenza da parte dell'acquirente. Per il servizio in garanzia ritornare l'apparecchio insieme con la ricevuta d'acquisto o equipollente. Le spese di spedizione e rinvio sono a carico dell'acquirente.

F

NORMES DE SECURITE

Avant d'effectuer des interventions sur la pompe, coupez l'alimentation de tous les appareils électriques plongés dans l'eau. Cette pompe ne peut être utilisée qu'à l'intérieur. Ne l'installez pas si le câble ou la pompe résultent endommagés. Le câble d'alimentation de cet appareil ne peut pas être remplacé; en cas d'endommagement du câble, l'appareil doit être mis à la poubelle. Le produit est conforme aux normes en vigueur concernant la sécurité. Contrôlez le voltage indiqué sur la pompe et assurez-vous qu'il correspond à la tension du secteur. LA POMPE NE DOIT JAMAIS FONCTIONNER EN SEC. LA POMPE PEUT ÊTRE UTILISÉE DANS TOUTS LES LIQUIDES DONT LA TEMPÉRATURE N'EXÈDE PAS 35° C!

EMPLOI ET REGLEGE

Pour un fonctionnement correct, nous conseillons une profondeur minimale de l'eau de 2 cm environ. Il est possible de raccorder à la pompe soit des tuyaux souples Ø 12x16, au moyen de l'adaptateur fourni en dotation, soit des tuyaux rigides Ø 13 mm (Fig. 2). Le débit d'eau peut être varié au moyen du régulateur de flux qui permet un dosage aisé et précis selon les nécessités d'emploi (Fig. 1).

ENTRETIEN

MICRA est une pompe centrifuge à entraînement magnétique actionnée par un moteur synchrone étanche; elle requiert un entretien limité mais important pour un bon fonctionnement. La pompe est dotée d'un petit filtre (Fig. 3) qui doit être nettoyé à des intervalles de temps réguliers ou bien si le flux de l'eau diminue excessivement. Pour le nettoyage il suffit d'enlever la pièce frontale (Fig. 3) et de rincer le matériel filtrant. Pour le remontage, procéder en ordre inverse. Tous les trois mois, laver les autres parties dans l'eau tiède, enlevant délicatement les dépôts de calcaire.

GARANTIE

Ce produit est garanti pour une période de 24 mois à compter de la date d'achat contre tous les défauts de matière ou de construction.

Le certificat de garantie devra être rempli dans toutes ses parties par le revendeur et devra accompagner l'appareil au cas où il soit rendu pour la réparation.

La garantie consiste à remplacer les parties défectueuses. Cette garantie n'est pas applicable en cas d'exploitation non conforme aux normes de l'appareil, ni en cas de dommages causés par des interventions non autorisées ou par négligence de la part de l'acheteur. Pour servir votre garantie, retourner le produit accompagné de votre preuve d'achat. Les frais d'expédition sont à la charge de l'acheteur.

N

VEILIGHEIDSVOORSCHRIFTEN

Alvorens werkzaamheden aan de pomp uit te voeren, dient u de stroomtoevoer van alle elektrische apparaten in het water uit te schakelen. Deze pomp is uitsluitend voor gebruik binnenshuis bedoeld. Installeer de pomp niet indien de kabel of de pomp op welke wijze dan ook beschadigd blijken te zijn. De voedingskabel van dit apparaat kan niet vervangen worden; indien de kabel beschadigd is, dient het apparaat te worden afgedankt. Het product voldoet aan de huidige normen op het gebied van de veiligheid. Controleer of het op de pomp gedrukte voltage overeenkomt met de netspanning.

DE POMP MAG NIET ZONDER WATER WERKEN. DE POMP KAN GEBRUIKT WORDEN IN VLOEISTOFFEN MET EEN TEMPERAATUUR VAN NIET MEER DAN 35 °C!

GEBRUIK EN AFSTELLING

Voor een correcte werking van de pomp, dient het water tenminste circa 2 cm diep te zijn. Op de pomp kunnen zowel buigzame leidingen van Ø 12 x 16 worden aangesloten (met behulp van de bijgeleverde adapter) - als starre leidingen van Ø 13 mm (afb. 2). Het waterdebiet kan gevarieerd worden met behulp van de stroomregelaar, die een gemakkelijke en nauwkeurige dosering mogelijk maakt, al naargelang de gebruiksvereisten (afb. 1).

ONDERHOUD

MICRA is een centrifugaalpomp met magnetische aandrijving die wordt aangedreven door een synchrone waterdichte motor; het onderhoud dat de pomp vereist is minimaal, maar fundamenteel voor een goede functionering ervan.

De pomp is uitgerust met een klein filter (afb. 3) dat met regelmatige tussenpozen, op of het moment dat de waterstroom teveel afneemt, moet worden schoongemaakt. Voor de reiniging is het voldoende het frontpaneeltje (afb. 3) te verwijderen en het filtermateriaal schoon te spoelen.

Ga in omgekeerde volgorde te werk om de onderdelen weer te monteren.

Maak de volgende onderdelen om de 3 maanden schoon in lauw water en verwijder hierbij voorzichtig de kalkaanslag.

GARANTIE

Dit product is voor een periode van 24 maanden vanaf de aankoopdatum gegarandeerd tegen materiaal- en fabricagefouten.

Het garantiecertificaat moet volledig worden ingevuld door de verkoper en moet bij het apparaat gedaan worden in het geval dit voor reparatie voor teruggezonden.

De garantie bestaat uit de gegarandeerde vervanging van de onderdelen die gebreken vertonen. Deze garantie is niet geldig in het geval van onregelmatig gebruik en er kan geen aansprakelijkheid worden aanvaard voor schade die veroorzaakt is door het onklaar maken van het apparaat of door nalatigheid van de kant van de aankoper.

Voor reparatie binnen de garantie het apparaat samen met het aankoopbewijs of gelijksoortig document retour zenden.

De verzendingskosten zijn voor rekening van de koper.

P

NORMAS DE SEGURANÇA

Antes de qualquer intervenção na bomba, desligue a alimentação de todos os aparelhos eléctricos imersos na água. Esta bomba é destinada exclusivamente ao uso interno. Não instale se cabo ou bomba resultarem de qualquer modo danificados. O cabo de alimentação deste aparelho não pode ser substituído; em caso de danificação, o aparelho deve ser eliminado. O produto está conforme as actuais normas em termos de segurança. Controle a voltagem impressa na bomba e verifique se corresponde à tensão da rede. **A BOMBA NÃO DEVE FUNCIONAR SEM ÁGUA. A BOMBA PODE SER UTILIZADA EM LÍQUIDOS CUJA TEMPERATURA NÃO EXCEDA 35°C!**

USO E REGULAÇÃO

Para um funcionamento correcto, aconselhamos uma altura mínima da água de 2 cm. aproximadamente. A bomba é possível ligar quer tubos flexíveis Ø 12x16 – por meio do adaptador anexo – quer tubos rígidos Ø 13 mm. (Fig. 2).

O caudal de água pode ser variado, agindo no regulador de fluxo, que consente uma dosagem fácil e precisa de acordo com as necessidades de uso (Fig. 1).

MANUTENÇÃO

A MICRA é uma bomba centrífuga de arrastamento magnético accionada por um motor síncrono estanque: necessita de uma manutenção mínima, mas importante para um funcionamento correcto. A bomba está provida de um pequeno filtro (Fig. 3) que deve ser limpo a intervalos regulares, ou quando o fluxo da água diminuir excessivamente.

Para a limpeza é suficiente retirar a parte frontal (Fig. 3) e enxaguar o material filtrante. Para a remontagem, proceda na ordem contrária.

De 3 em 3 meses, lave as demais partes com água morna, removendo delicadamente os depósitos calcários.

GARANTIA

Este produto é garantido por um período de 24 meses da data da compra, de defeitos de material ou fabrica. O certificado de garantia deve ser preenchido em todas as suas partes pelo revendedor e deve acompanhar o aparelho no caso em que este seja devolvido para a reparação. A garantia consiste na substituição gratuita das partes defeituosas. Esta garantia não é válida em caso de uso impróprio, nem responde por danos causados por alteração ou negligência por parte do comprador.

Para o serviço em garantia, devolva o aparelho junto com o recibo da compra ou equivalente. **As despesas de expedição e devolução ficam por conta do comprador.**

NOVA
IDRA
EXTREMA
SUPREMA

SEAL AND SIGNATURE OF RESALE DEALER
STEMPEL UND UNTERSCHRIFT DES VERKAUFERS
STEMPEL EN HANDEKENING VAN DE DEALER
CACHET ET SIGNATURE DU REVENDUEUR
SELLO Y FIRMA DEL REVENDEDOR
CARIMBO E ASSINATURA DO REVENDEDOR
TIMBRO E FIRMA DEL RIVENDITORE
FORHANDLERENS STEMPEL OG UNDERSKRIFT

DATE OF PURCHASE
VERKAUFSDATUM
DATUM VAN AANKOOP
DATE DE VENTE
FECHA DE VENTA
DATA DE VENDA
DATA DI VENDITA
SALGSDATO

S

SÄKERHETSNORMER

Koppla från strömmen till alla elektriska apparater nedsänkta i vatten innan det utförs några ingrepp på pumpen. Denna pump är enbart avsedd för inomhusbruk. Installera inte om kabeln eller pumpen skulle vara skadade på något sätt. Netkabeln på denna apparat kan inte bytas ut. Om den skadas måste apparaten skrotas. Produkten är i överensstämmelse med gällande säkerhetsnormer. Kontrollera att spänningen på pumpen överensstämmer med nätspänningen.

PUMPEN FÅR INTE KÖRAS UTAN VATTEN OCH KAN ANVÄNDAS I VÅTSKOR VARS TEMPERATUR INTE ÖVERSTIGER 35 °C!

ANVÄNDNING OCH REGLERING

För en korrekt funktion rekommenderar vi att vattens min. nivå är cirka 2 cm.

Till pumpen kan du ansluta både slangar med _ 12x16 mm – med hjälp av en medföljande adapter – och rör med _ 13 mm (fig. 2).

Vattentillförseln kan varieras med en flödesregulator som tillåter en lätt och precis dosering beroende på användningsbehoven (fig. 1).

UNDERHÅLL

MICRA är en centrifugalpump med magnetisk koppling som aktiveras av en vattenfäst synkronmotor. Pumpen kräver endast ett minimalt underhåll men som ändå är viktigt för den korrekta funktionen. Pumpen är utrustad med ett litet filter (fig. 3) som ska rengöras med jämna mellanrum eller när vattentillförseln sjunker överdrivet mycket.

Vid rengöring är det tillräckligt att ta bort frontpanelen (fig. 3) och skölja filtret. Gör ovanstående moment i omvänd ordning vid återmonteringen.

Var 3:e månad ska de resterande delarna tvättas i ljummet vatten och kalkavlagringarna ska avlägsnas försiktigt.

GARANTI

Denna produkt har 24 månaders garanti mot material- och fabriktionsfel räknat från inköpsdatumet. Garantibeviset måste fyllas i av återförsäljaren och ska följas med apparaten om den lämnas in för reparation. Garantin omfattar byte av defekta delar. Garantin gäller inte vid felaktigt bruk eller vid skador som orsakats av vårdslöshet eller försurmlelse från köparens sida.

För service under garanti ska apparaten returneras tillsammans med inköpskvittat eller likvärdigt. **Fraktkostnader svarar köparen för.**

DK

SIKKERHEDSFORSKRIFTER

Sørg for at koble strømmen fra alt elektrisk udstyr, der er nedsænket i vand, inden der udføres arbejder på pumpen.

Denne pumpe er kun egnet til indendørsbrug. Foretag ikke installation, hvis ledningen eller pumpen på nogen måde er beskadiget. Strømledningen på dette apparat kan ikke udskiftes. Hvis den beskadiges, skal apparatet skrottes. Produktet opfylder gældende sikkerhedskrav. Kontroller, at spændingen på pumpen svarer til netspændingen.

PUMPEN MÅ IKKE KØRE TØR, OG DEN MÅ KUN ANVENDES I VÆSKER MED MAX. TEMPERATUR PÅ 35 °C.

BETJENING OG REGULERING

For at sikre korrekt funktion anbefales det, at vandstanden er min. ca. 2 cm.

Det er muligt at slutte både slangar (Δ 12x16) og rør (Ø 13 mm) til pumpen. Dette sker ved hjælp af den medleverede adapter (fig. 2).

Gennemstrømmingen af vand kan ændres ved hjælp af gennemstrømningsregulatoren, der gør det nemt og præcist at kontrollere gennemstrømmingen i overensstemmelse med de konkrete behov (fig. 1).

VEDLIGEHOLDELSE

MICRA er en centrifugalpumpe med magnetisk kobling, der drives af en hermetisk lukket synkronmotor. Pumpen behøver kun minimal vedligeholdelse, men denne er nødvendig for korrekt drift. Pumpen er forsynet med et lille filter (fig. 3), der skal rengøres med regelmæssige intervaller eller når der sker en kraftig reduktion af gennemstrømmingen af vand.

I forbindelse med rengøring er det tilstrækkeligt at fjerne frontpanelet (fig. 3) og skylle filteringsmaterialet. Monter delene ved at udføre ovennævnte indgreb i omvendt rækkefølge.

Afvask de øvrige dele med lunke vand hver 3. måned, således at alle kalkaflejringer fjernes forsigtigt.

GARANTI

Dette produkt er garanteret for en periode af 24 måneder fra købsdatoen. Garantien dækker materiale- eller fabriktionsdefekter. Garantibeviset skal udfyldes i sin helhed af forhandleren, og skal følge med apparatet, såfremt dette tilbageleveres til reparation. Garantien omfatter udskifning af defekte dele. I tilfælde af ukorrekt anvendelse, indgreb eller skadeslashed fra køberens eller brugerens side, bortfalder garantien.

I forbindelse med reparation i garantiperioden skal apparatet tilbageleveres sammen med kvitteringen eller lignende.

Udgifterne til spedition og tilbagesendelse påligger køberen.

FIN

TURVAMÄÄRÄYKSET

Ennen kuin aloitat pumppuun kohdistuvat toimenpiteet, kytkie kaikki veteen upotetut sähkölaitteet irti sähköverkosta. Pumppu on tarkoitettu ainoastaan sisäkäyttöön. Älä asenna pumppuu, jos kaapeli tai pumppuu vaikuttavat vahingoittuneilta. Laitteen sähkökaapelia ei voida vaihtaa; jos se vahingoittuu, laite on ramutettava. Tuote vastaa ajankohtaisia turvallisuusmääräyksiä. Tarkista pumpun jännite ja varmista, että se vastaa verkkojännitettä.

PUMPPUUA EI SAA KÄYTTÄÄ ILMAN VETTÄ. SITÄ VOIDAAN KÄYTTÄÄ NESTEISSÄ, JOIDEN LÄMPÖTILA ON ALLE 35 °C!

KÄYTTÖ JA SÄÄTÖ

Jotta pumppu toimisi oikein, veden minimikorkeuden tulee olla noin 2 cm.

Pumppuun voidaan liittää sekä letkua _ 12x16 – ohessa toimitettui suutuskappaleella – että putkia _ 13 mm (kuva 2).

Veden virtausta voidaan säätää virtausääntimellä, jonka avulla anostelu tapahtuu helposti ja tarkasti käyttötarpeiden mukaan (kuva 1).

HUOLTO

MICRA on keskipakopumppu, jossa on vesitiivillä tasatahtimootorilla käytetty magneetti-imu: sitä tarvitsee huoltaa erittäin vähän. Huolto on kuitenkin tärkeää asianmukaisen toiminnan takaamiseksi. Pumppu on varustettu pienellä suodatimella (kuva 3), joka tulee puhdistaa säännöllisesti tai jos veden virtaus vähenee huomattavasti.

Riittää, kun poistat etulevyn (kuva 3) ja huuhtelet suodatuseräalain.

Asenna osat takaisin päinvastaisessa järjestyksessä. Pese muut osat lämpimällä vedellä 3 kuukauden välein. Poista kalkkikerrostumat varoen.

TAKUU

Tällä tuotteella on 24 kuukauden takuu ostopäivästä laskien. Takuu kattaa materiaali- ja valmistusvirheet. Jälleenmyyjään tulee täyttää takuutodistuksen kaikki kohdat. Takuutodistus tulee toimittaa laitteen ohessa, jos laite joudutaan palauttamaan korjattavaksi. Takuu kattaa vahingoittuneiden osien vaihtamisen uusiin. Takuu ei kuitenkaan kata vahinkoja, jotka johtuvat väärinlaaisesta käytöstä tai osajan korjauksesta tai laiminlyönnistä.

Takuun kattamia palveluja varten laitteen mukana on palautettava myös ostokuitti tai vastaava. **Ostaja vastaa lähetyks- ja palautuskuluista.**

N

SIKKERHETSNORMER

Kopie fra strømmen til alle de elektriske apparatene som er nedsenket i vannet for det utføres noen inngrep på pumpen. Denne pumpen er kun til innendørsbruk. Ikke utfør installasjonen hvis kabelen eller pumpen er skadet. Netkabelen til dette apparatet kan ikke skiftes ut. Hvis den ødeleges må apparatet skrottes. Produktet er i overensstemmelse med gjeldende sikkerhetsnormer. Kontroller at spenningen på pumpen stemmer overens med netspenningen.

PUMPEN MÅ IKKE BRUKES UTEN VANN, OG KAN BRUKES I VÆSKER MED TEMPERATURER PÅ OPTILT 35°C!

BRUK OG JUSTERING

For korrekt funksjon anbefaler vi at vannets minimums høyde er cirka 2 cm.

Du kan kopie både slanger _ 12x16 – ved hjelp av en adapter som følger med - og rør _ 13 mm (fig. 2) til pumpen.

Vannmengden reguleres med hjelp av strømningsregulatoren som tillater en lett og precis dosering alt etter bruksbehov (fig. 1).

VEDLIKEHOLD

MICRA er en sentrifugalpumpe med magnetisk kopling som drives av en vannfett synkronmotor. Pumpen krever minimalt vedlikehold men det er likevel viktig for at den skal fungere korrekt. Pumpen er utstyrt med et lite filter (fig. 3) som må rengjøres med jevne mellomrom, eller når vannstrømmingen minsker betraktelig.

Det er nok å fjerne frontdelen for å rengjøre (fig. 3) og skylle filteret.

For å montere på nytt, gjør det samme men i omvendt rekkefølge.

Hver 3. måned må du rengjøre de andre delene i lunke vann og fjerne forsiktig kalkrester

GARANTI

Dette produktet har en 24 måneders garanti mot material- og fabriktionsfeil.

Garantibeviset må fyllas ut av forhandleren og skal følge med apparatet sammen med kvittering eller tilsvarende hvis det leveres inn til reparasjon. Garantien omfatter byte av deler som er defekte. Garantien bortfaller umiddelbart ved feil bruk, skjedeslashed eller forsømmelse fra kjøperens eller brukerens side. Garantien er heller ikke gyldig uten fremvisning av kvittering eller tilsvarende.

Kjøperen er ansvarlig for fraktkostnadene.

SPARE PARTS

TECHNICAL DATA

NOVA	230 V	120V	IDRA	230 V	120V
Hz	50	60	Hz	50	60
Watt	10	8.3	Watt	25	22
A	0.07	0.13	A	0.2	0.38
h/m - feet	1,6	4,8	h/m - feet	2,2	7
l/h - gal/h	800	178	l/h - gal/h	1300	306

EXTREMA	230 V	120V	SUPREMA	230 V	120V
Hz	50	60	Hz	50	60
Watt	50	43	Watt	53	59
A	0.5	0.38	A	0.5	0.3
h/m - feet	2,5	8,2	h/m - feet	2,5	8,2
l/h - gal/h	2500	660	l/h - gal/h	3700	980

I DATI SONO INDICATIVI E POTRANNO SUBIRE VARIAZIONI SENZA PREAVVISO. WE RESERVE THE RIGHT TO MODIFY DATA WITHOUT WARNING.

THORLABS

PDA36A(-EC) Si Switchable Gain Detector

User Guide



Chapter 6 Specifications

Performance Specifications ^{2,3}			
0 dB Setting		40 dB Setting	
Gain (Hi-Z)	1.51×10^3 V/A $\pm 2\%$	Gain (Hi-Z)	1.51×10^5 V/A $\pm 2\%$
Gain (50 Ω)	0.75×10^3 V/A $\pm 2\%$	Gain (50 Ω)	0.75×10^5 V/A $\pm 2\%$
Bandwidth	10.0 MHz	Bandwidth	150 kHz
Noise (RMS)	300 μ V	Noise (RMS)	340 μ V
NEP (@ λ_p)	2.91×10^{-11} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$	NEP (@ λ_p)	5.93×10^{-13} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Offset	3 mV (10 mV max)	Offset	4 mV (10 mV max)
10 dB Setting		50 dB Setting	
Gain (Hi-Z)	4.75×10^3 V/A $\pm 2\%$	Gain (Hi-Z)	4.75×10^5 V/A $\pm 2\%$
Gain (50 Ω)	2.38×10^3 V/A $\pm 2\%$	Gain (50 Ω)	2.38×10^5 V/A $\pm 2\%$
Bandwidth	5.5 MHz	Bandwidth	45 kHz
Noise (RMS)	280 μ V	Noise (RMS)	400 μ V
NEP (@ λ_p)	7.52×10^{-12} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$	NEP (@ λ_p)	7.94×10^{-13} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Offset	4 mV (10 mV max)	Offset	4 mV (10 mV max)
20 dB Setting		60 dB Setting	
Gain (Hi-Z)	1.5×10^4 V/A $\pm 2\%$	Gain (Hi-Z)	1.5×10^6 V/A $\pm 5\%$
Gain (50 Ω)	0.75×10^4 V/A $\pm 2\%$	Gain (50 Ω)	0.75×10^6 V/A $\pm 5\%$
Bandwidth	1.0 MHz	Bandwidth	11 kHz
Noise (RMS)	250 μ V	Noise (RMS)	800 μ V
NEP (@ λ_p)	2.34×10^{-12} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$	NEP (@ λ_p)	1.43×10^{-12} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Offset	4 mV (10 mV max)	Offset:	5 mV (10 mV max)
30 dB Setting		70 dB Setting	
Gain (Hi-Z)	4.75×10^4 V/A $\pm 2\%$	Gain (Hi-Z)	4.75×10^6 V/A $\pm 5\%$
Gain (50 Ω)	2.38×10^4 V/A $\pm 2\%$	Gain (50 Ω)	2.38×10^6 V/A $\pm 5\%$
Bandwidth	260 kHz	Bandwidth	5 kHz
Noise (RMS)	260 μ V	Noise (RMS)	1.10 mV
NEP (@ λ_p)	1.21×10^{-12} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$	NEP (@ λ_p)	2.10×10^{-12} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Offset	4 mV (10 mV max)	Offset	6 mV (10 mV max)

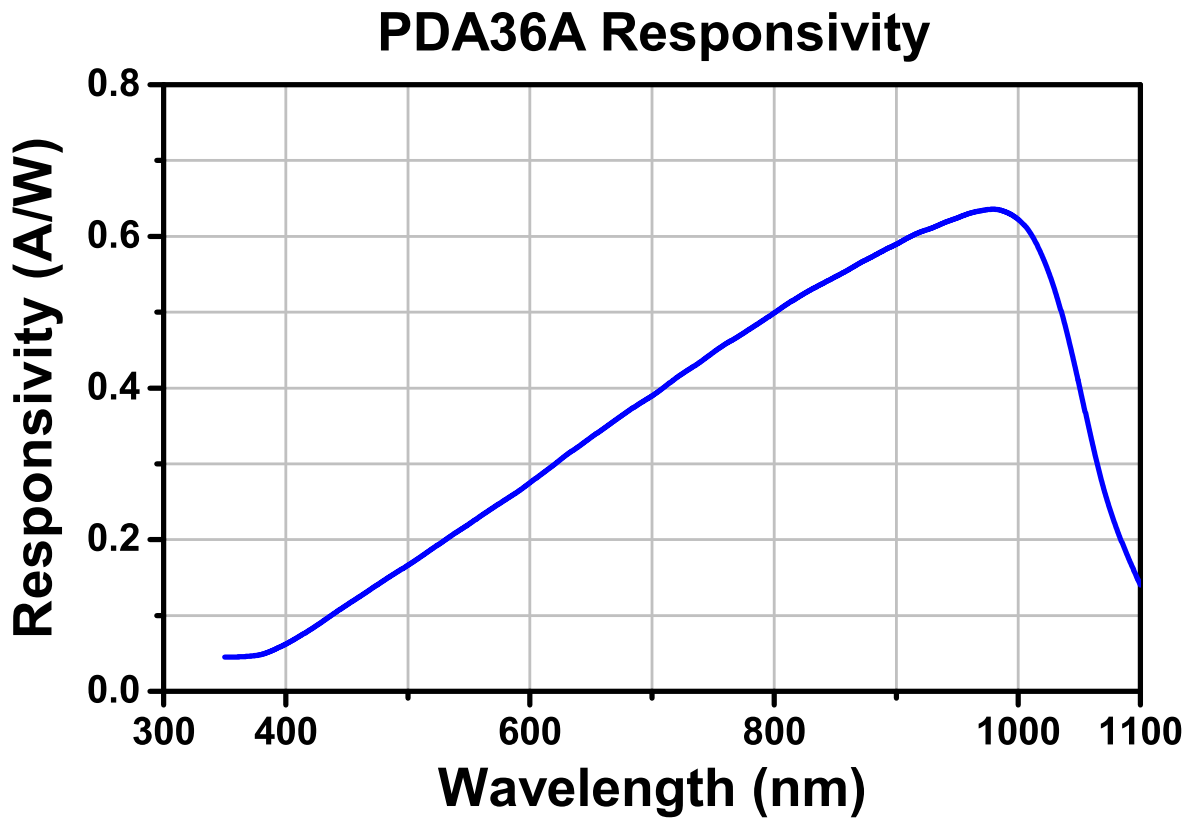
² All measurements performed with a 50 Ω load unless stated otherwise.

³ The PDA36A has a 50 Ω series terminator resistor (i.e. in series with amplifier output). This forms a voltage divider with any load impedance (e.g. 50 Ω load divides signal in half).

Electrical Specifications		
Detector		Si PIN
Active Area		3.6 x 3.6 mm (13 mm ²)
Wavelength Range	λ	350 to 1100 nm
Peak Wavelength	λ_p	970 nm (Typ)
Peak Response	$\mathfrak{R}(\lambda_p)$	0.65 A/W (Typ)
Amplifier GBP		600 MHz
Output Impedance		50 Ω
Max Output Current	I_{OUT}	100 mA
Load Impedance		50 Ω to Hi-Z
Gain Adjustment Range		0 dB to 70 dB
Gain Steps		8 x 10dB Steps
Output Voltage	V_{OUT}	0 to 5 V (50 Ω) 0 to 10 V (Hi-Z)
General		
On/Off Switch		Slide
Gain Switch		8 Position Rotary
Output		BNC (DC Coupled)
Package Size		2.76" x 2.06" x 0.88" (70.1 mm x 52.3 mm x 22.4 mm)
PD Surface Depth		0.16" (4.1 mm)
Weight, Detector Only		0.15 lbs
Accessories		SM1T1 Coupler SM1RR Retainer Ring
Operating Temp		0 to 40 °C
Storage Temp		-55 to 125 °C
AC Power Supply		AC – DC Converter
Input Power ⁴		31 W 100 – 200 VAC (50 to 60Hz) 220 – 240 VAC (50 to 60 Hz)

⁴ Although the power supply is rated for 31 W the PDA36A actual usage is <5 W over the full operating range.

6.1. Response Curve



FUENTE DE ALIMENTACIÓN PROGRAMABLE

La Fuente de alimentación programable **FA-851** se puede controlar remotamente, gracias a su interfaz RS-232 (de serie) y al interfaz GPIB (opcional), permitiendo al usuario disponer de todas las funciones de control automáticas vía PC.

Su gran pantalla LCD permite mostrar múltiples parámetros simultáneamente. Además de mostrar gráficamente los menús de configuración para un fácil manejo.

La **FA-851** es una fuente estable y precisa, que permite los modos de operación independientes, serie y paralelo. Dispone de funciones de protección frente a sobretensiones (OVP) y sobrecorrientes (OCP), capacidad para almacenar 100 configuraciones y programación de procesos.



Especificaciones	FA-851	Coeficiente de Temp.	
Salidas Tensión Corriente OVP	0~32 V x 2 / 0~6 V x1 0~2 A x 2 / 0~5 A x1 0~33 V x 2 / 0~7 V x1	Tensión	± 100 ppm + 10 mV (+ 20 mV, para tensión de salida >36 V)
		Corriente	≤ 100 ppm+5mA
Regulación de carga Tensión Corriente	≤ 3 mV (≤ 5 mV para corriente de salida > 3,0 A) ≤ 3 mA (≤ 5 mA para corriente de salida > 3,0 A)	Deriva Tensión	± 100ppm + 10 mV (+20 mV para tensión de salida >36V)
		Corriente	± 150 pm + 10 mA
Regulación de red Tensión Corriente	≤ 3 mV ≤ 3 mA	Modo simétrico Error de seguimiento	0.1% + 20 mV
		Modo paralelo Tensión	≤ 0,05% + 10 mV (+ 20 mV, para tensión de salida >36 V)
Resolución Tensión Corriente OVP	10 mV (20 mV, para tensión de salida > 36 V) 1 mA (2 mA, para corriente de salida > 3,5 A) 10 mV (20 mV, para tensión de salida > 36V)	Corriente	≤ 0,1% + 10 mA
		OVP	≤ 0,05% + 10 mV
			≤ 0,05% + 10 mV
Precisión del programa (25 ±5 °C) Tensión Corriente OVP	≤ 0,05% + 10 mV (+40 mV, para tensión de salida >36 V) ≤ 0,1% + 5 mA +10 mA, para corriente de salida > 3,5 A) ≤ 0,05% + 10 mV (+40 mV, para tensión de salida > 36 V)	Regulación de carga Tensión	≤ 3mV (≤5mV, para margen de corriente > 3,0 A)
		Corriente	≤ 6 mA
		Regulación de red Tensión Corriente	≤ 3 mV ≤ 6 mA
Ruido y Rizado (20 Hz ~ 20 MHz) Tensión Corriente	Rizado: ≤1 mVrms / 3mVp-p Ruido: ≤2 mVrms/30mVp-p ≤ 3 mA rms (≤ 5mArms rating current > 3.0 A)	Memoria	Guardar / Recperar, 0-99 posiciones
		Temporizador Tiempo de config. Resolución Función Interfaz	0,1 seg ~ 99 min 59 segs (máx 100) 0,1 seg Para salida en lazo (Ejecución de pasos auto.) RS-232C, opcional GPIB
		Alimentación	AC 100 V, 120 V, 220 V ± 10% 230 V +8% / -6%, 50 / 60 Hz
Coeficiente de Temp. (0 ~ 40 °C) Tensión Corriente	≤ 100 ppm + 3mV ≤ 100 ppm+ 3 mA	Características mecánicas Dimensiones Peso	A. 230 x Al. 140 x Pr. 380 10 kg
		Accesorios	Cable red, Manual de instrucciones y programación
Resolución lectura Tensión Corriente	10 mV (20 mV, para margen de tensión >36 V) 1 mA (2mA, para margen de corriente > 3,0 A)		

NAIS

IC DRIVABLE PC BOARD RELAY FOR FIELD LOAD SWITCHING

ST-RELAYS



mm inch

FEATURES

- Sealed to meet the combination process of automatic wave soldering and cleaning needs
- Latching types available
- High switching capacity and high sensitivity in subminiature size
150 mW pick-up, 8 A inrush capacity: 51 A for 1a1b, 35 A for 2a
- High shock and vibration resistance
Shock: 20 G, Vibration: 10 to 55 Hz at double amplitude of 2 mm

SPECIFICATIONS

Contacts

Arrangement	1 Form A 1 Form B	2 Form A	
Contact material	Gold flash over silver alloy		
Initial contact resistance, max.	30 mΩ		
Rating (resistive)	Max. switching power	2,000 VA, 150 W	
	Max. switching voltage	380 V AC, 30 V DC	
	Max. switching current	8 A	
HP rating	1/4 HP 125, 250 V AC		
Inrush current capability	51 A (TV-3 equivalence) for 1a1b 35 A (TV-1 equivalence) for 2a		
Expected life (min. operations)	Mechanical (at 180 cpm)	10 ⁷	
	Electrical	8 A 250 V AC (resistive)	10 ⁵
		5 A 30 V DC (resistive)	2 × 10 ⁵
		3 A 100 V AC (lamp)	3 × 10 ⁴
		1 A 100 V AC (lamp)	—

Coil (polarized) (at 25°C 77°F)

Single side stable	Nominal operating power	Approx. 240 mW
Latching	Nominal set and reset power	Approx. 240 mW

Remarks

- * Specifications will vary with foreign standards certification ratings.
- *1 Measurement at same location as "Initial breakdown voltage" section
- *2 Detection current: 10 mA
- *3 Wave is standard shock voltage of ±1.2 × 50μs according to JEC-212-1981
- *4 Excluding contact bounce time
- *5 Half-wave pulse of sine wave: 11ms; detection time: 10μs
- *6 Half-wave pulse of sine wave: 6ms
- *7 Detection time: 10μs
- *8 Refer to 5. Conditions for operation, transport and storage mentioned in AMBIENT ENVIRONMENT (Page 61).

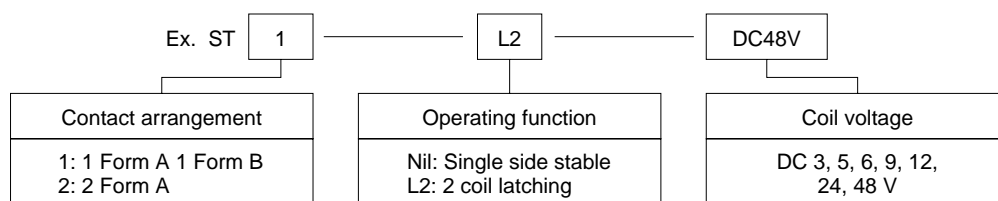
Characteristics (at 25°C 77°F 50% Relative humidity)

Max. operating speed	20 cpm (at rated load)	
Initial insulation resistance*1	1,000 MΩ (at 500 V DC)	
Initial breakdown voltage*2	Between contact sets	2,000 Vrms
	Between open contacts	1,200 Vrms
	Between contacts and coil	3,750 Vrms
Surge voltage between coil and contact*3	Min. 6,000 V	
Operate time*4 (at nominal voltage)	Max. 15 ms (Approx. 10 ms)	
Release time (without diode)*4 (at nominal voltage)	Max. 10 ms (Approx. 8 ms)	
Set time*4 (latching) (at nominal voltage)	Max. 10 ms (Approx. 8 ms)	
Reset time*4 (latching) (at nominal voltage)	Max. 10 ms (Approx. 8 ms)	
Temperature rise (at 60°C)	Max. 55°C with nominal coil voltage and at 8 A switching current	
Shock resistance	Functional*5	Min. 196 m/s ² {20 G}
	Destructive*6	Min. 980 m/s ² {100 G}
Vibration resistance	Functional*7	117.6 m/s ² {12 G}, 10 to 55 Hz at double amplitude of 2 mm
	Destructive	176.4 m/s ² {18 G}, 10 to 55 Hz at double amplitude of 3 mm
Conditions for operation, transport and storage*8 (Not freezing and condensing at low temperature)	Ambient temp.	-40°C to +60°C -40°F to +140°F
	Humidity	5 to 85% R.H.
Unit weight	Approx. 10g .353 oz	

TYPICAL APPLICATIONS

Sequence controllers, facsimiles, telephone controls, remote control security devices and security equipment.

ORDERING INFORMATION



(Note) Standard packing: Carton; 50 pcs., Case; 500 pcs.

TYPES AND COIL DATA (at 20°C 68°F)

Single side stable

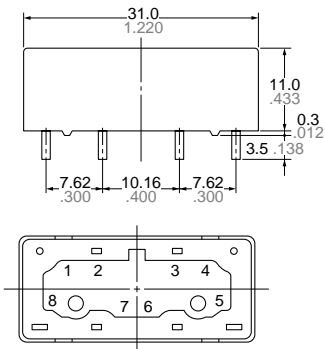
Part No.		Nominal voltage, V DC	Pick-up voltage, V DC (max.)	Drop-out voltage, V DC (min.)	Maximum allowable voltage, V DC (60°C 140°F)	Coil resistance, Ω (±10%)	Nominal operating current, mA
1 Form A 1 Form B	2 Form A						
ST1-DC3V	ST2-DC3V	3	2.4	0.3	4.5	38	75
ST1-DC5V	ST2-DC5V	5	4.0	0.5	7.5	105	47
ST1-DC6V	ST2-DC6V	6	4.8	0.6	9.0	150	40
ST1-DC9V	ST2-DC9V	9	7.2	0.9	13.5	360	25
ST1-DC12V	ST2-DC12V	12	9.6	1.2	18.0	600	20
ST1-DC24V	ST2-DC24V	24	19.2	2.4	36.0	2,400	10
ST1-DC48V	ST2-DC48V	48	38.4	4.8	72.0	9,000	4.7

2 coil latching

Part No.		Nominal voltage, V DC	Set and reset voltage, V DC (max.)	Maximum allowable voltage, V DC (60°C 140°F)	Coil resistance, Ω (±10%)	Nominal operating current, mA
1 Form A 1 Form B	2 Form A					
ST1-L2-DC3V	ST2-L2-DC3V	3	2.4	4.5	40	75
ST1-L2-DC5V	ST2-L2-DC5V	5	4.0	7.5	110	47
ST1-L2-DC6V	ST2-L2-DC6V	6	4.8	9.0	155	37.5
ST1-L2-DC9V	ST2-L2-DC9V	9	7.2	13.5	360	25
ST1-L2-DC12V	ST2-L2-DC12V	12	9.6	18.0	640	18.8
ST1-L2-DC24V	ST2-L2-DC24V	24	19.2	36.0	2,400	9.8
ST1-L2-DC48V	ST2-L2-DC48V	48	38.4	72.0	10,200	4.7

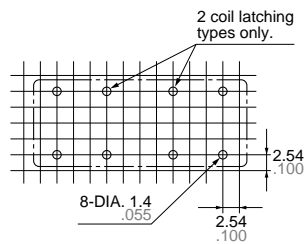
DIMENSIONS

mm inch



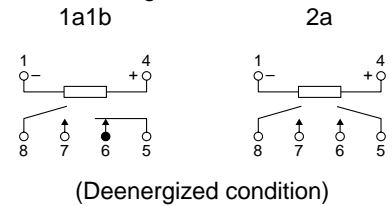
General tolerance: $\pm 0.2 \pm 0.008$

PC board pattern (Copper-side view)

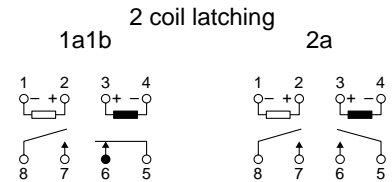


Tolerance: $\pm 0.1 \pm 0.004$

Schematic (Bottom view) Single side stable



(Deenergized condition)



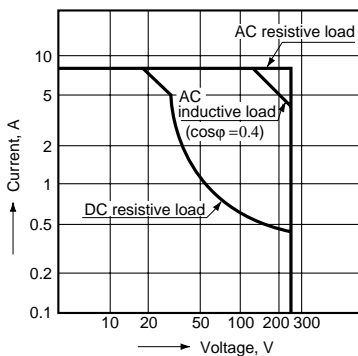
(Reset condition)

Diagram shows the "reset" position when terminals 3 and 4 are energized. Energize terminals 1 and 2 to transfer contacts.

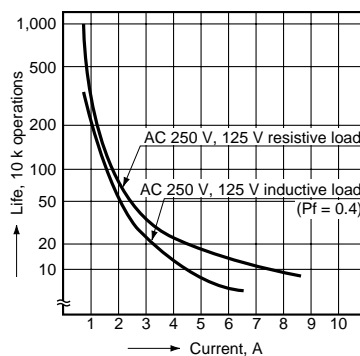
Diagram shows the "reset" position when terminals 3 and 4 are energized. Energize terminals 1 and 2 to transfer contacts.

REFERENCE DATA

1. Max. switching power

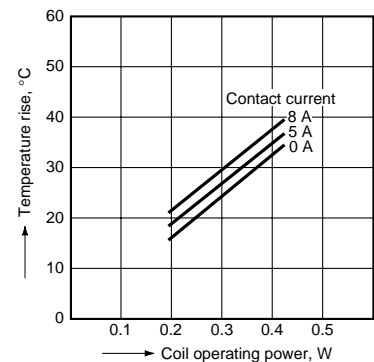


2. Life curve



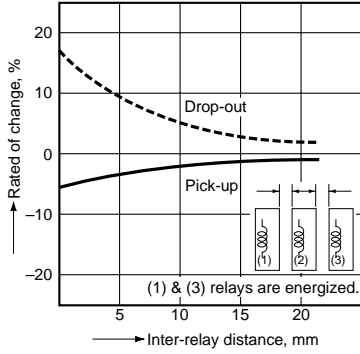
3. Coil temperature rise

Sample: ST1-DC24V

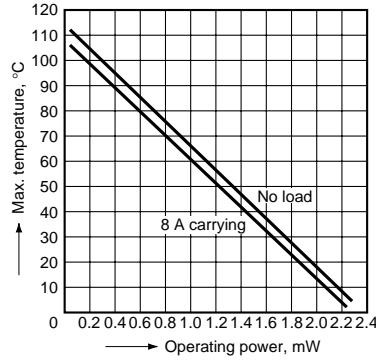


4. Influence of adjacent mounting

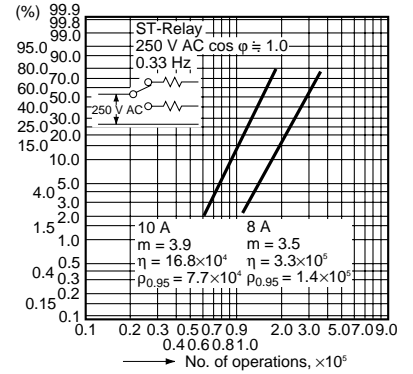
Sample: ST1-DC24V



5. Max. ambient temperature by operating power



6. Contact reliability



ST relay socket



ST-SS
Solder terminal socket

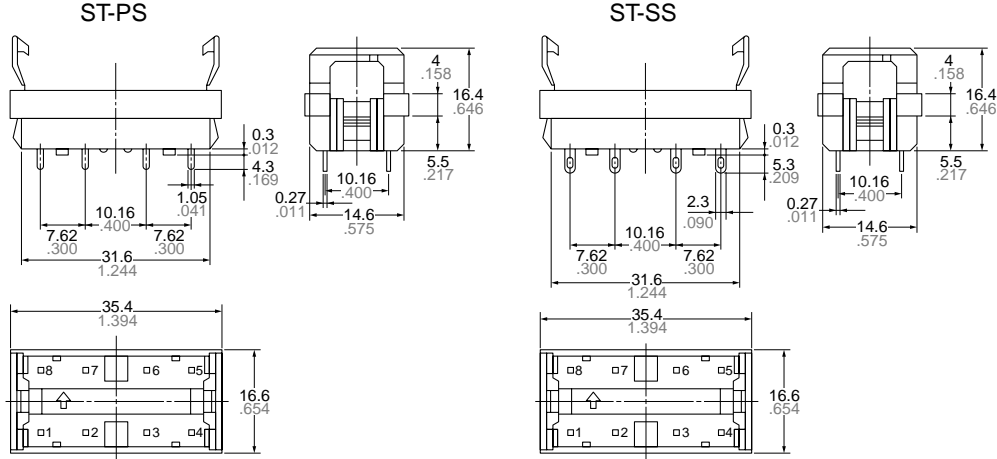


ST-PS
PC board terminal socket

Specifications

Breakdown voltage	4,000 Vrms Coil/Contacts 2,000 Vrms Contacts/Contacts
Insulation resistance	More than 1,000 MΩ between terminals
Heat resistance	150°C (302°F) for 1 hr
Max. continuous current	10 A
Relay insertion life	15 times

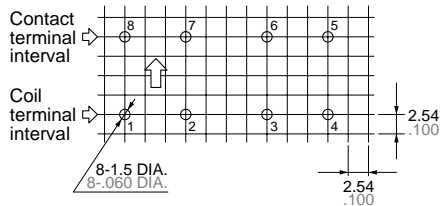
DIMENSIONS



Precautions for use (socket)

1. PC board mounting method

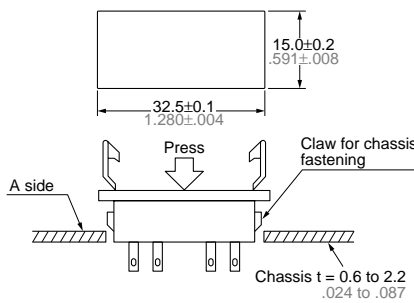
PC board pattern



The terminal configuration is symmetrical on the left and right, so an arrow mark \uparrow is stamped on the socket to prevent mis-insertion. We recommend printing the same arrow mark \uparrow on the component mounting side (side opposite from pattern) of the PC board. In this case, the terminal configuration becomes the terminal nos. noted near the drilling holes.

2. Chassis cutout

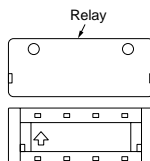
Chassis cutting dimensions



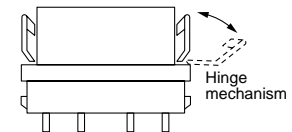
If the chassis hole is punched with a press, set so the release R on the front side (A side). The range for chassis thickness is 0.6 to 2.2 mm .024 to .087 inch .

3. Relay mounting and removal

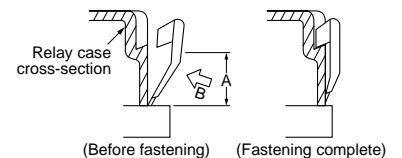
(1) Align the directions of the relay and socket.



(2) Insert the relay all the way in, so it is securely in place.



(3) Press the part indicated by A in the B direction, and fasten by placing the hook on the relay.



(4). When removing the relay, completely release the hooks on both sides and pull the relay out.

For Cautions for Use, see Relay Technical Information (Page 48 to 76).

Source Section

DC Voltage Source

Range	Source Range	Resolution	Max. Load Current	Accuracy (One Year) ±(% of setting + V)	Temperature Coefficient ±(% of setting + V)/°C
200 mV	±200.000 mV	1 µV	±3.2 A	0.02 + 250 µV	0.003 + 35µV
2 V	±2.00000 V	10 µV	±3.2 A	0.02 + 400 µV	0.003 + 60µV
7 V	± 7.0000 V	100 µV	±3.2 A	0.02 + 2 mV	0.003 + 300µV
18 V	±18.0000 V	100 µV	±1.2 A	0.02 + 2 mV	0.003 + 300µV

Output resistance (for four-wire system remote sensing)
 200 mV, 2 V range: (Shunt resistance/40000) Ω or less
 7 V, 18 V range: (Shunt resistance/5000) Ω or less
 * Shunt resistance: See "DC Current Measurement"

One year accuracy for 23±5 °C.
 Add the temperature coefficient for 5 to 18 °C and 28 to 40°C.

DC Current Source

Range	Source Range	Resolution	Max. Load Voltage	Accuracy (One Year) ±(% of setting + A)	Temperature Coefficient ±(% of setting + A)/°C
200nA	±200.000nA	1pA	±18V	0.06 + 3nA	500pA
2µA	±2.00000µA	10pA	±18V	0.04 + 3nA	500pA
20µA	±20.0000µA	100pA	±18V	0.03 + 3nA	0.0045 + 450pA
200µA	±200.000µA	1nA	±18V	0.03 + 30nA	0.0045 + 4.5nA
2mA	±2.00000 mA	10nA	±18 V	0.03 + 250 nA	0.0045 + 37.5 nA
20mA	±20.0000 mA	100nA	±18 V	0.03 + 2.5µA	0.0045 + 375 nA
200mA	±200.000 mA	1µA	±18 V	0.03 + 25µA	0.0045 + 3.75 µA
1A	±1.20000 A	10µA	±18 V	0.05 + 900µA	0.0075 + 135 µA
3A	±3.20000 A	10 µA	±7 V	0.05 + 1.5 mA	0.0075 + 225 µA

One year accuracy for 23±5 °C.
 Add the temperature coefficient for 5 to 18 °C and 28 to 40 °C.

Output resistance
 (Shunt resistance x 50000) Ω or more
 * Shunt resistance: See "DC Current Measurement"

One year accuracy for 23±5 °C.
 Add the temperature coefficient for 5 to 18 °C and 28 to 40 °C.

Current Limiter

Setting ^{*1}	Range	Resolution	Min. Setting
10.000 nA to 200.000 nA	200nA	1pA	10nA
0.20001 µA to 2.00000 µA	2µA	10pA	10nA
2.00001 µA to 20.0000 µA	20 µA	100pA	100nA
20.0001 µA to 200.000 µA	200 µA	1nA	1µA
200.001 µA to 2.00000 mA	2 mA	10nA	10µA
2.00001 mA to 20.0000 mA	20 mA	100nA	100µA
20.0001 mA to 200.000 mA	200 mA	1µA	1mA
0.20001 A to 1.20000 A	1A	10µA	10mA
1.20001 A to 3.20000 A	3A	10µA	10mA

Voltage Limiter

Setting ^{*1}	Range	Resolution	Min. Setting
1.000 mV to 200.000 mV	200 mV	1 µV	1 mV
0.20001 V to 2.00000 V	2 V	10 µV	1 mV
2.00001 V to 7.0000 V	7 V	100 µV	5 mV
7.0001 V to 18.0000 V	18 V	100 µV	5 mV

*1: Larger of the two values (high limit value) or (low limit value) when tracking is OFF

Response Time (Typical)

Source	Range	Response Time
Current Source	200 mV range	250µs
	2 V range	50µs
	7 V, 18 V range	100µs
	200 nA range	250ms
Voltage Source	2 µA range	25ms
	20 µA range	2.5ms
	200 µA range	250µs
	2 mA to 3 A range	80µs

In normal mode.

The time for the output to reach within 0.1% of the final value after the output starts changing.

Pure resistive load. The limiter setting is at the full scale of the range. Source voltage or current is at the maximum value of the range.

LC Load

Current Source/Measurement/ Limiter Range	Normal Mode		Stable Mode	
	Max. C load	Max. L load	Max. C load	Max. L load
200 nA to 2 mA	0.01 µF	10 µH	100 µF	1 mH
20 mA	0.1 µF			
200 mA	1 µF			
2 A, 3 A	10 µF			

Output Noise (Typical)

20 mVp-p

For DC to 20 MHz, 2-V voltage source range, and 1-A current limiter range

Measurement Section

DC Voltage Measurement

Range	Measurement Range	Resolution	Accuracy ±(% of reading + V)	Temperature Coefficient ±(% of reading + V)/°C
200 mV	±210.000 mV	1 µV	0.015 + 200 µV (250 µV) {300 µV} [500 µV]	0.0025 + 30 µV (40 µV) { 45 µV} [60 µV]
2 V	±2.10000 V	10 µV	0.015 + 200 µV (400 µV) { 1 mV} [5 mV]	0.0025 + 30 µV (60 µV) {200 µV} [800 µV]
7 V	±7.1000 V	100 µV	0.015 + 2 mV (4 mV) { 10 mV} [50 mV]	0.0025 + 300 µV (600 µV) { 2 mV} [8 mV]
18 V	±18.0000 V	100 µV	0.015 + 2 mV (4 mV) { 10 mV} [50 mV]	0.0025 + 300 µV (600 µV) { 2 mV} [8 mV]

DC Current Measurement

Range	Measurement Range	Resolution	Shunt resistance	Accuracy ±(% of reading + A)	Temperature Coefficient ±(% of reading + A)/°C
200 nA	±210.000 nA	1 pA	1 M Ω	0.05 + 3 nA (3 nA) { 3 nA} [4 nA]	500 pA (500 pA) [500 pA] [600 pA]
2 µA	±2.10000 µA	10 pA	1 M Ω	0.025 + 3 nA (3 nA) { 4 nA} [6 nA]	500 pA (500 pA) [500 pA] [600 pA]
20 µA	±21.0000 µA	100 pA	100 k Ω	0.025 + 4 nA (6 nA) { 10 nA} [50 nA]	0.004 + 600 pA (900 pA) { 1.5 nA} [8 nA]
200 µA	±210.000 µA	1 nA	10 k Ω	0.02 + 40 nA (60 nA) { 100 nA} [500 nA]	0.003 + 6 nA (9 nA) { 15 nA} [80 nA]
2 mA	±2.10000 mA	10 nA	1 k Ω	0.02 + 400 nA (600 nA) { 1 µA} [5 µA]	0.003 + 60 nA (90 nA) { 150 nA} [800 nA]
20 mA	±21.0000 mA	100 nA	100 Ω	0.02 + 4 µA (6 µA) { 10 µA} [50 µA]	0.003 + 600 nA (900 nA) { 1.5 µA} [8 µA]
200 mA	±210.000 mA	1 µA	10 Ω	0.02 + 70 µA (100 µA) [150 µA] [500 µA]	0.003 + 10 µA (15 µA) { 20 µA} [80 µA]
1 A	±1.30000 A	10 µA	1 Ω	0.03 + 700 µA (1 mA) { 2 mA} [6 mA]	0.0045 + 100 µA (150 µA) [300 µA] [900 µA]
3 A	±3.20000 A	10 µA	1 Ω	0.05 + 1 mA (1.5 mA) { 2 mA} [6 mA]	0.0075 + 150 µA (200 µA) [300 µA] [900 µA]

One year accuracy for 23±5 °C.

Add the temperature coefficient for 5 to 18°C and 28 to 40 °C.

Values inside parentheses are for 0.1 PLC ? integration time < 1 PLC. Values inside braces are for 0.01 PLC ? integration time < 0.1 PLC.

Values inside brackets are for 0.001 PLC ? integration time < 0.01 PLC.

Functions

Source

Function: Voltage or current
 Mode: DC or pulse (pulse width: 50 μ s to 3,600 s)
 Sweep mode: Linear, logarithmic, or program (up to 100,000 steps)
 Trigger source: External or internal timers 1 and 2 (period: 100 μ s to 3600 s)
 Sweep start source: External or internal timers 1 and 2 (period: 100 μ s to 3600 s)
 Source delay: 15 μ s to 3600 s
 Response characteristics: Normal or stable

Measurement

Function: Voltage, current, auto, voltmeter mode, ammeter mode, or resistance meter mode
 Integration time: 0.001 to 25 PLC (Power Line Cycle)
 Trigger source: External or internal timers 1 and 2 (period: 100 μ s to 3600 s)
 Measure delay: 0 μ s to 3600 s
 Measurement data storage: Up to 100000 data points
 Average: Moving average (average count: 2 to 256)
 Voltage sense: Two-wire system or four-wire system
 Auto zero: Measure the internal zero reference every measurement and correct the measured value

NULL computation: Computes the difference with respect to the current measured value or user-defined value

User-defined computation: Computes user-defined equations in real-time
 Operators: +[addition], -[subtraction], *[multiplication], /[division], ^ [exponentiation], % [mod], | [logic OR], & [logic AND], ! [negation], < <= > >= != [comparison], = [substitution],

Functions: ABS() [absolute value], SQRT() [square root], LN(), LOG() [logarithm], SIN(), COS(), TAN() [trigonometric functions], ASIN(), ACOS(), ATAN() [inverse trigonometric functions], SINH(), COSH(), TANH() [hyperbolic functions], RAND() (random number generation), EDGE() [logic change extraction], TRUNC(), FLOOR() [rounding to an integer], ISINF() [infinity judgment], ISNaN [not-a-number judgment]
 IF-THEN-ELSE

Conditional statement:

External I/O

BNC I/O

Connector type: BNC connector
 I/O level: TTL
 I/O logic format: Negative logic, falling edge
 Minimum pulse width: 10 μ s

Digital I/O

Connector type: D-Sub 15-pin (765601 standard model)
 Half-pitch 50-pin (765602 digital I/O installed model)
 I/O level: TTL
 Minimum pulse width: 10 μ s

Signal Name		Signal Name	
Channel 1 comparison result output	Comparison end	Digital output	DO12 *
	Comparison result low		DO13 *
	Comparison result IN		DO14 *
	Comparison result high		DO15 *
Channel 2 comparison result output	Comparison end	Digital input	DIO
	Comparison result low		DI1
	Comparison result IN		DI2 *
Interlock input			DI3 *
Digital output	DO0		DI4 *
	DO1		DI5 *
	DO2 *		DI6 *
	DO3 *		DI7 *
	DO4 *		DI8 *
	DO5 *		DI9 *
	DO6 *		DI10 *
	DO7 *		DI11 *
	DO8 *		DI12 *
	DO9 *		DI13 *
	DO10 *		DI14 *
	DO11 *		DI15 *

* DO2 to 15, DI2 to 15
 Available on the digital I/O installed model (765602)



D-Sub 15-pin (model 765601)



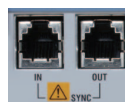
Half-pitch 50-pin (model 765602)

I/O for Synchronized Operation

Connector type: RJ-11 connector
 BNC connector (select the signal to be assigned to the input and output, separately)
 I/O level: TTL
 Minimum pulse width: 10 μ s

I/O signal for synchronized operation

Pin No.	Sync Input Connector	Sync Output Connector
1	Output relay control input	Output relay control output
2	Sweep start input	Sweep start output
3	Trigger input	Trigger output
4	GND	GND
5	Auxiliary trigger input	Auxiliary trigger output
6	Zero source control input	Zero source control output



RJ-11 connector

Compatible cable: 758930

Communication Interface

GPIB

Electrical and mechanical specifications: Conforms to IEEE St'd 488-1987
 Functional specifications: SH1, AH1, T6, L4, SR1, RL1, PPO, DC1, DT1, C0
 Protocol: Conforms to IEEE St'd 488.2-1987
 Address: 0 to 30

RS232

Connector type: D-Sub 9-pin
 Electrical specifications: Conforms to EIA RS232
 Connection format: Point-to-point
 Transmission mode: Full-duplex
 Synchronization mode: Start-stop synchronization
 Baud rate: 9600, 14400, 19200, 38400, 57600, 115200 bps

USB interface

Number of ports: 1
 Connector type: Type B connector (receptacle)
 Electrical and mechanical specifications: Conforms to USB Rev. 2.0
 Protocol: Mass storage class, USB-TMC

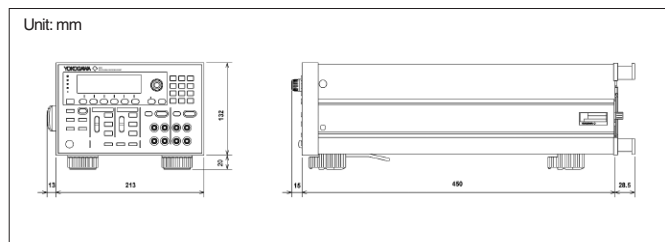
Ethernet

Number of Ethernet ports: 1
 Connector type: RJ-45 connector
 Electrical and mechanical specifications: Conforms to IEEE 802.3
 Transmission system: 100BASE-TX/10BASE-T
 Data rate: 100 Mbps or 10 Mbps
 Protocol: VXI-11 server, HTTP server, FTP server, DHCP client, and command socket

General Specifications

Display: 256 \times 64 dot VFD
 Rated supply voltage: 100 to 120 VAC or 200 to 240 VAC
 Rated supply frequency: 50/60 Hz
 Power consumption: Approx. 250 VA
 Warm-up time: At least 60 minutes
 Operating temperature and humidity range: 5 $^{\circ}$ C to 40 $^{\circ}$ C and 20% to 80%RH (no condensation)
 Storage temperature and humidity range: -15 $^{\circ}$ C to 60 $^{\circ}$ C and 20% to 80%RH (no condensation)
 Max. common-mode voltage: Between the case and each terminal \pm 250 Vpk
 Maximum allowable input voltage: Between high sense and low sense \pm 18 Vpk
 Between high output and low output \pm 18 Vpk
 Between high sense and high output \pm 0.5 Vpk
 Between low sense and low output \pm 0.5 Vpk
 Between each terminal of CH1 and each terminal of CH2 \pm 250 Vpk
 External dimensions: Approx. 213 (W) \times 132 (H) \times 450 (D) mm (excluding projections)
 Weight: Approx. 8 kg

External Dimensions



MODEL and SUFFIX Code

Model	Suffix Code	Notes
765601		GS820 Multi Channel Source Measure Unit Standard Model
765602		GS820 Multi Channel Source Measure Unit Digital I/O Installed Model
Power cord	-D	UL/CSA standard
	-F	VDE standard
	-R	AS standard
	-Q	BS standard
	-H	GB standard

Note:
The test certificate and calibration certificate can be requested only at the time of the order. Please don't forget to request them as they cannot be issued after the product has been delivered.

Standard Accessories

Power cord, rubber feet (4 pieces), measurement leads 758933 (2 sets), small alligator clip adapters 758922 (2 sets), user's manuals (1 set) External I/O connector

Rack Mount Kits

Model	Product	Specifications
751533-E3	Rack mount kit	For EIA single mount
751533-J3	Rack mount kit	For JIS single mount
751534-E3	Rack mount kit	For EIA dual mount
751534-J3	Rack mount kit	For JIS dual mount

Core 2 Duo is a registered trademark of Intel Corporation.
LabView is a registered trademark of National Instruments.
Ethernet is a registered trademark of XEROX Corporation.

Optional Accessories

Model	Product	Specifications
758933	Measurement lead	Safety terminal cable 1 m and 2 leads (red and black) in a set
758917	Measurement lead	Safety terminal cable 0.75 m and 2 leads (red and black) in a set
758919	Banana plug set	ø 4-mm plug/ø 4-mm socket adapter
758922	Small alligator clip adapter	Safety terminal-alligator clip adapter and 2 adapters (red and black) in a set
758929	Large alligator clip adapter	Safety terminal-to-alligator clip adapter and 2 adapters (red and black) in a set
758921	Fork terminal adapter	Safety terminal-to-fork terminal adapter and 2 adapters (red and black) in a set
758924	Conversion adapter	BNC-to-binding post adapter
366924	BNC cable	BNC-BNC cable 1 m
366925	BNC cable	BNC-BNC cable 2 m
758923	Safety terminal adapter	Spring clamp type pe 2 adapters (red and black) in a set
758931	Safety terminal adapter	Screw-in type pe 2 adapters (red and black) in a set
758960	Synchronization operation cable	RJ11 6-pin 1 m



758933 Measurement lead

2 pieces (red and black) in 1 set, length: 1.00 m
Used in combination with the 701959, 758921, 758922, or 758929.
Rating: 1000 V CAT III/19 A



758917 Measurement lead

2 pieces (red and black) in 1 set, length: 0.75 m
Used in combination with the 701959, 758921, 758922, or 758929.
Rating: 1000 V CAT III/32 A



758921 Fork terminal adapter

Safety terminal (banana female)-to-4 mm fork terminal adapter, 2 pieces (red and black) in 1 set Rating: 1000 V CAT II
Connected to the 758933, 758917, or 701901.



758919 Banana plug set

ø 4-mm plug/ø 4-mm socket adapter
Rating: 30 VAC to 60 VDC 30 A



758922 Small alligator clip adapter

Safety terminal (banana female)-to-alligator clip adapter, 2 pieces (red and black) in 1 set
Rating: 300 V CAT II Connected to the 758933, 758917, or 701901.



758929 Large alligator clip adapter

Safety terminal (banana female)-to-alligator clip adapter, 2 pieces (red and black) in 1 set
Rating: 1000 V CAT II Connected to the 758933, 758917, or 701901.



758924 Conversion adapter

Safety terminal (banana female)-to-BNC (male) adapter
Connected to the 758933, 758917, or 701901.



366924/366925 BNC cable

366924: Length 1 m
366925: Length 2 m



758923 Safety terminal adapter set

Spring clamp type (banana male) 2 pieces in 1 set
Easy attachment/detachment of the cable.



758931 Safety terminal adapter set

Screw-in type (banana male)
2 pieces in 1 set
Comes with a B9317WD 1.5-mm hexagonal wrench for fixing the cable in place.

Related Products



GS610 Source Measure Unit

Wide-range source and measurement function
Source and measurement range: ±110 V and ±3.2 A



7651 Programmable DC Source

Highly accurate, highly stable, and low noise
Output range: ±30 V and ±120 mA

Note



Due to the nature of the product, it is possible for the user to come in contact with metal parts and receive electric shock. Exercise caution when using the product.

*1 Wire diameter of cables that can connect to the adapter
758923 Core wire diameter: 2.5 mm or less, covering diameter: 5.0 mm or less
758931 Core wire diameter: 1.8 mm or less, covering diameter: 3.9 mm or less

