

Diseño y fabricación de un dispositivo de iluminación con aplicación para el mantenimiento de organismos marinos fotosintéticos

Carlos Devir Pinedo Arriaga
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán
 Huehuetoca, Estado de México, México
 carlos.devir.pinedo.arriaga@gmail.com

Resumen— El cambio climático, entre otros factores, han propiciado el deterioro de los ecosistemas marinos, de los cuales, los corales sufren parte de este daño; la idea principal de este proyecto es proponer un dispositivo de iluminación que permita mantener organismos marinos fotosintéticos en sistemas artificiales, para su recuperación, propagación y conservación. [1].

Los sistemas acuáticos de cautiverio para la preservación de especies marinas fotosintéticas requieren de diversos equipos para simular las condiciones de los lugares de origen de estos organismos, entre dichos equipos se encuentran los encargados de la filtración, iluminación y circulación. Además de lo mencionado, este trabajo tiene como finalidad recabar los pormenores del desarrollo de un equipo que permita aportar los requerimientos de iluminación que los corales demandan. (Figura 1)



Figura 1 Arreglo de LEDs de potencia

Palabras clave—cambio climático, corales, daño ecológico, recuperación, propagación, restauración, tecnología LED, control.

I. INTRODUCCIÓN

Los recientes acontecimientos asociados al cambio climático afectan en mayor o menor medida a todos los seres vivos de la tierra, siendo los corales de los organismos más afectados. Durante 2015-2016, temperaturas récord desencadenaron un episodio de decoloración de los corales en todas las regiones tropicales, el tercer evento a escala mundial desde blanqueamiento masivo se documentó por primera vez en la década de 1980. [2].

Inspirado en un plan de conservación, este trabajo pretende apoyar el apartado de iluminación para la manutención de organismos marinos fotosintéticos en cautiverio. Para fabricar un dispositivo de estas características es necesario cubrir los requerimientos de iluminación que demanda la conservación y reproducción de corales en cautiverio, no obstante, se debe tener en cuenta una consideración importante, las luminarias de bulbo o tubos fluorescentes utilizadas para este fin consumen grandes cantidades de energía; hace algunos años la industria de la electrónica desarrolló LEDs de potencia [3], de modo que, para este diseño se implementarán los materiales necesarios para que el dispositivo sea funcional con un menor consumo de energía; para ello, la radiación que se generará está enfocada en simular parte del espectro electromagnético del sol, lo que llamamos luz visible que comprende un rango entre 400 y 700nm [4], dicho rango estará constituido por los, antes mencionados, LEDs de potencia con diferente longitud de onda [3], que en conjunto completarán los requerimientos básicos de iluminación asociados a la fotosíntesis en corales. Estos diodos serán ordenados para interconectarlos y controlarlos en 6 canales independientes, esto permitirá generar una intensidad de radiación acorde al organismo sin importar su lugar de origen o la familia a la que pertenezca (Tabla 1), de modo que se podrá mantener distintas variedades de organismos en un mismo sistema. Por lo tanto, para el control de los múltiples canales se implementará, electrónica digital, electrónica de potencia y un microcontrolador para manipular a distancia la lámpara mediante una App de Android, la cual estará asociada a la electrónica interna del dispositivo para un control preciso de la iluminación.

Genera	Growth type	Common name(s)
1. Acropora	Branching	Staghorn coral
2. Euphyllia	Rhaceloid or flabello-meandroid with fleshy polyps	Hammer coral, frogspawn, torch coral
3. Montipora	Flating, branching or encrusting	Montipora coral
4. Cavastrea	Rhaceloid with fleshy polyps	Trumpet coral or candy cane coral
5. Goniopora	Massive or submassive, hemispherical or irregular, typically with fleshy columellae	Goniopora or flower pot coral
6. Echinophyllia	Flating	Chalice coral
7. Turbinaria	Encrusting or laminar	Cup coral, disc coral
8. Hydrophora	Submassive, encrusting or branching	Horn coral
9. Pocillopora	Branching	Cauliflower coral
10. Stylophora	Blunt branching or encrusting	Stylophora coral or birdnest coral

Tabla 1. Los mejores diez géneros de coral importados a los Estados Unidos como 'acuicultura' o 'maricultura', la mayoría de los cuales se propagan en Indonesia. Lista derivado de una encuesta PIJAC Consejo Asesor Mixto del Animal de Compañía de junio de 2015 los tres importadores estadounidenses mayores de corales y no da cuenta de aproximadamente 1 millón de Fraggers " nacionales y operaciones semicomercial dentro de los Estados Unidos. [5].

II. EL CAMBIO CLIMÁTICO

A. El contexto marino

John Veron (Figura 2), apodado el “Padrino del coral” de Australia, luce preocupado y ansioso después de bucear en un arrecife, y no es para menos porque en una mano sostiene un trozo de lo que solía ser un organismo vivo, “está completamente blanco”, dice, “...tiene un brillo blanco en lugar de tonos azules y marrones como debería...”. “El arrecife está simplemente irreconocible”, concluye. Veron, de 71 años de edad [6], es uno de los principales investigadores de tiempo completo de arrecifes. A principios de 2016, la temperatura del mar en la parte norte del arrecife aumentó hasta 2°C sobre la máxima temperatura registrada de 30°C debido a fuertes fenómenos meteorológicos como “El niño” y la tendencia al cambio climático, este intenso calor provocó estragos en los corales. [6].



Figura 2. John Veron. [6]

El centro de excelencia para estudios de arrecifes de coral del consejo australiano de investigación (ARC, por sus siglas en inglés) de la Universidad James Cook publicó un informe donde muestra que dos tercios de los corales en una parte del arrecife habían muerto. (Figura 3). Hasta ese momento, la parte norte del arrecife que comienza desde la zona del pueblo de Queensland de Port Douglas se extiende hasta Papúa en Nueva Guinea era la parte más limpia de la reserva natural, ya que cuenta con la protección de la UNESCO como patrimonio mundial, sin embargo, estas zonas que están libres de la contaminación no pueden escapar a los efectos del calentamiento global. Es por ello, que los científicos advierten que los años próximos serán clave en la preservación, ya que los registros de incremento en la temperatura indican que hemos vivido la década más calurosa. Los arrecifes de coral proporcionan grandes beneficios a las personas y comunidades alrededor del mundo. Destacan por participar activamente con, por ejemplo: áreas críticas de desove para los peces, sitios turísticos y amortiguadores naturales que protegen zonas costeras de daños por tormentas. [6].



Figura 3 Acrópora ‘Cuerno de Alce’ [6]

B. Recuperación de arrecifes

El potencial de recuperación de los corales se define como la capacidad de una colonia individual, o de un sistema de arrecife (incluyendo todos sus habitantes), para absorber los impactos del ambiente y mantener su habilidad para recuperarse y desarrollarse [7]. Tal parece que los impactos negativos severos o prolongados pueden reducir progresivamente el potencial de recuperación a impactos subsecuentes. Esto puede inhibir la capacidad de recuperación de los arrecifes de coral después de algún trastorno, y puede conducir a un cambio de un sistema dominado por corales a uno dominado por algas [8]. La investigación sobre el potencial de recuperación de los arrecifes de coral y sus habitantes está aún en proceso, dado que se sabe muy poco sobre las tasas de recuperación de otras poblaciones de especies además de los corales. Por lo pronto queda esperar y apreciar los hermosos colores de estos organismos (Figura 4).



Figura 4 Acrópora ‘Tsa Bioshock’ [9].

III. INGENIERÍA PARA LA RESTAURACIÓN DEL CORAL

Actualmente existen dos opciones para la restauración de los arrecifes de coral. Por ejemplo, en el primero se consideran trabajos de restauración directamente en el ecosistema dañado. El campo de la restauración de arrecifes de coral ha crecido considerablemente. Inicialmente, la restauración se concentra en gran medida en el diseño y ejecución de proyectos de ingeniería complejas destinadas a recuperar rápidamente o la reconstrucción de la estructura corporal de los arrecifes dañados, afectadas por perturbaciones físicas, principalmente encallamientos [10]. El objetivo principal de estos proyectos es estabilizar la estructura del arrecife y rehabilitar la estructura dañada o perdida que tomaría varias decenas de años para volver a formarse sin intervención humana [11].

La recuperación posterior, de las comunidades dañadas se basó en un “construirlo un poco y ellos prosperarán” filosofía basada en el potencial de recuperación natural sobre el sustrato recién recobrado [12]. Durante algunos proyectos, que involucran corales blandos y pedregosos, se obtuvieron organismos ya sea recogiendo las colonias supervivientes en su lugar de origen para intervenirlas en el mismo sitio o implantándolas en otras partes, éstas fueron intervenidas en estructuras de restauración con cemento y piedra caliza para darle soporte, pero la recuperación ecológica a gran escala rara vez se llevó a cabo. Ejemplos de dichas actividades, como proyectos a gran escala incluyen la restauración del Maitland, Elpis, Houston, Wellwood, y Columbus Iselin sitios buque-tierra en Florida [13] (Figura 5).



Figura 5 Los corales se propagan utilizando métodos de jardinería de coral. ‘Árbol de coral’ [14]

Sin embargo, debido a su costo, logística complicada, y la obtención de permisos y consideraciones legales, estos proyectos se completan habitualmente muchos años después del daño inicial. Por ejemplo, los daños sufridos por Key Reef causados por la RV Columbus Iselin tuvieron lugar en agosto de 1994, mientras que la restauración del sitio dañado se llevó a cabo en 1999 después de que se alcanzó un acuerdo de \$ 3,76 millones en reclamaciones por daños. Por desgracia, el tiempo de tales proyectos de restauración coincidió con la declinación global de los corales, lo que limita las posibilidades de recuperación natural de las comunidades coralinas originales que fueron dañadas en el primer lugar. [14].

De este modo, podemos considerar otra alternativa, como lo es el mantenimiento de corales en cautiverio, debido a que en ocasiones los arrecifes de coral sufren daños en casi la totalidad, este caso sucedió en el arrecife de coral de las Islas de Fiji donde el coral estaba desapareciendo casi por completo, producto del cambio climático y de la actividad humana (costera) como consecuencia de la industria hotelera y de la propia actividad humana de los lugareños.

El regreso de un ecosistema de arrecife a un estado funcional después de una mortalidad masiva por blanqueamiento dependerá de la reproducción y recolonización exitosas de los corales remanentes en las condiciones actuales y de corales de poblaciones de FUENTES EXTERIORES.

A. Propuesta

El mantenimiento de corales en cautiverio involucra simular todas as condiciones del ecosistema de donde provienen estos organismos, entre los elementos requeridos destaca la fuente de iluminación ya que estos seres vivos trabajan en simbiosis con células Zooxantellas que les permiten obtener alimento a partir de la síntesis de nutrientes mediante fotosíntesis. La acuicultura de coral ofrece una alternativa a la recolección silvestre para el comercio de especies ornamentales y muestra una promesa considerable para la restauración de los arrecifes y la preservación de la biodiversidad. [15].

La conformación de un equipo adecuado de iluminación se valorará mediante análisis y síntesis por lo que la composición de este está sujeta a futuros cambios para mejorar el rendimiento del sistema. Los conceptos necesarios para el desarrollo del dispositivo se enumeran a continuación, siendo los LEDs, MOSFETs y Distribución Espectral los elementos centrales del dispositivo.

B. Definiciones

- LED, diodo emisor de luz.
- MOSFET, Transistor efecto de campo óxido metálico.
- Distribución Espectral, se le conoce así a la irradiancia emitida por el sol, misma que se pretende simular (Figura 6) y que se conforma por una delimitada región que es aprovechable por los organismos fotosintéticos, la cual va desde los 380nm hasta los 700nm. [16].

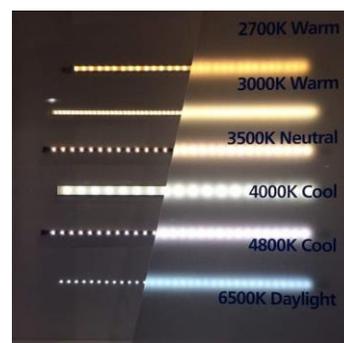


Figura 6 Temperatura de color del espectro solar simulado [17].

C. Planeación y desarrollo

La radiación térmica es debida a la radiación electromagnética emitida por un cuerpo como resultado de su temperatura, en este caso, la radiación electromagnética que se simulará será la del sol, que comprende la región visible [18]. Según datos de la NASA, la temperatura promedio en la superficie solar es de 5,700 K. (Figura 7).

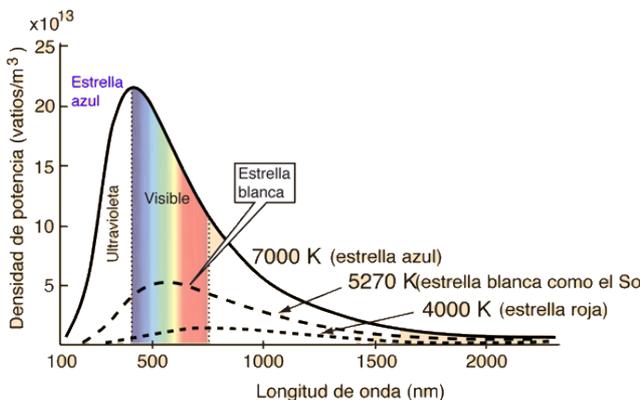


Figura 7 Gráfica de distribución espectral de Planck [19].

Para un cuerpo negro, la radiación térmica total emitida en función de la longitud de onda puede ser calculada como la potencia emisiva en cuya evaluación es necesario usar la ecuación de distribución espectral de Planck [19].

$$E_{b\lambda} = \frac{c_1 \lambda^{-5}}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (1)$$

donde

- $E_{b\lambda}$ potencia monocromática de cuerpo negro $W/m^2\mu m$
- C_1 constante $3.743 \times 10^{-16} Wm^2$
- C_2 constante $1.4387 \times 10^4 \mu mK$
- λ longitud de onda μm
- T temperatura absoluta del cuerpo K
- Dentro del espectro visible, los rangos que se consideran para los distintos tonos de luz son:

- 0.355 a 0.385 Ultra Violeta
- 0.385 a 0.433 Violeta
- 0.435 a 0.462 Azul Marino
- 0.467 a 0.493 Azul Hielo
- 0.493 a 0.520 Azul Verdoso
- 0.522 a 0.551 Verde
- 0.552 a 0.575 Amarillo Verdoso
- 0.575 a 0.595 Amarillo

- 0.595 a 0.625 Naranja
- 0.625 a 0.662 Rojo Claro
- 0.662 a 0.769 Rojo Oscuro

[18]

IV. SELECCIÓN DE DIODOS LED

Como parte de la integración espectral que se pretende generar, se utilizaron diodos de potencia que había disponibles en el mercado, siendo elegidos los ultra violeta, violeta, azul real, azul, verde, rojo, blanco cálido (3,500K) y blanco fresco (6,500K). [3].



Figura 8 Los diodos llevan encima un lente de 90°

A. Distribución

Es importante señalar que los diodos fueron seleccionados por color y cantidad dadas las longitudes de onda de acuerdo a los datos anteriores. De modo que, el arreglo queda distribuido de forma homogénea como se ve (Figura 9)

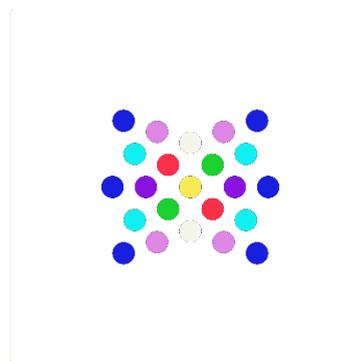


Figura 9 Arreglo concentrado de LEDs.

1) La distribución de tonos se realiza con base en la intensidad y el efecto de fosforescencia específico para que resalte la coloración de los corales [20].

Identify applicable funding agency here. If none, delete this text box.

2) Para la refrigeración se empleará un disipador de aletas rectangulares dado que se necesita un sistema dual que combine conducción y convección como medios de evacuación de calor [21]; al cual se le hizo un corte (con una broca para fresa en un taladro de banco) para poder colocar dentro de este un ventilador. (Figura 8).

a) *Disipador:* Refrigeración por conducción.

b) *Ventilador:* Extracción y circulación de aire hacia el exterior.

B. Conexiones

Para poder controlar los LEDs es necesario organizarlos por series, cada serie corresponde a un tono, obteniendo así 6 en total, a cada una le corresponde un canal de control independiente.

Debido a que algunas series conforman una carga elevada para una fuente de voltaje, es necesario añadir dos circuitos, uno para el control y otro para la potencia, de este modo se puede manejar una carga que inicialmente es imposible de alimentar por parte de una fuente con capacidad limitada y al mismo tiempo controlarla.

a) *Circuito de control:* Se trata de un microcontrolador (uC) que gestiona todas las funciones de la lámpara, por medio de Modulación por Ancho de Pulso (PWM), dicho control se realiza a distancia mediante una App Android. El circuito consiste en un uC que se comunica con la App por medio de comunicación serial vía Bluetooth. Por otra parte, el circuito está dotado de transistores MOSFET de potencia y arreglos de resistencia que sirven para desactivar y para gestionar las señales de PWM que envíe el uC. [22].

b) *Circuito de potencia:* Como se mencionó antes, es importante añadir esta etapa de electrónica para poder mantener un Factor de Potencia (FP) estable para la fuente de voltaje, el circuito consiste en una serie de arreglos de transistores MOSFET conectados en paralelo que permiten la gestión del voltaje a conveniencia, así mismo es posible obtener una ganancia de corriente considerable mediante el “switching” del PWM. [23].

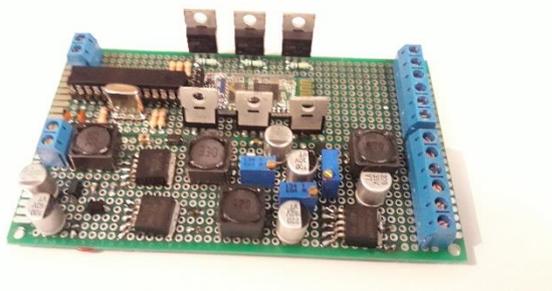


Figura 10 Vista panorámica de los circuitos de control y potencia juntos.

C. Gabinete

Se diseñó y fabricó una carcasa para el conjunto de LEDs, disipador, circuitos y ventilador, de modo que se tiene una presentación elegante para el aparato. (Figura 11).



Figura 11 Disposición de los circuitos dentro del gabinete visto desde arriba.

Las consideraciones técnicas para el diseño fueron las siguientes: primero, las ranuras para el flujo de aire, se dejaron espacios grandes pero con suficiente soporte para la estructura, con ello se consigue no obstaculizar el paso del aire, tanto para la tapa superior en la entrada de aire, como para las caras laterales para la salida. [24].

Luego, para colgar el dispositivo sobre un sistema para iluminar se añadieron una serie de extensiones con agujeros para pasar algún cable u objeto que permita suspender desde el aire usando estas “orejas”. (Figura 12).

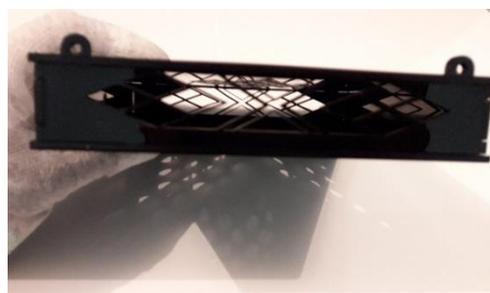


Figura 12 Vista lateral del gabinete.

Al dispositivo se le añadió un botón de RESET y 4 tornillos ALLEN para cerrar con seguridad el mismo, el aspecto general del equipo. (Figura 13).



Figura 13 Lámpara terminada.

APP Y PROGRAMACIÓN

- a) Para el desarrollo de la App Android se empleó la plataforma App Inventor 2 (Figura 14).

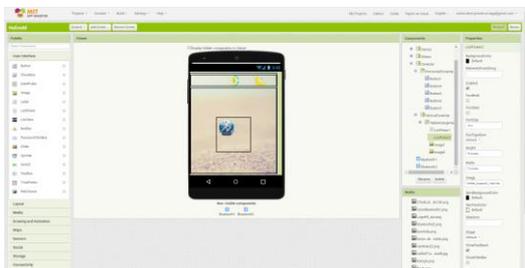


Figura 14 Entorno de desarrollo de Apps.

En una primer pantalla el programa ejecuta un servidor Bluetooth para la conexión (Figura 15), en una segunda pantalla el control manual se realiza a través de “Sliders” que no es otra cosa que un envío constante de datos dentro de un rango (Figura 16), en este caso 255 valores diferentes donde el valor inicial “0” corresponde a 0V o apagado en nivel lógico, luego, el “255” es el valor máximo de voltaje correspondiendo a 5V, de modo que es posible controlar la intensidad por canal según se requiera.



Figura 14 Menú de conexión de la App [25]



Figura 16 Menú de control manual de la App

- b) Mientras que para la programación se generó un algoritmo para la comunicación serial dentro de un “void setup” y un algoritmo para capturar datos, convertirlos y enviarlos como una señal PWM de entre 0-255 por un pin de salida del uC en un “void loop”. (Figura 17).

```

Sliders Arduino 1.8.10
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Sliders $
38 void setup ()
39 {
40 }
41 Serial.begin(9600);
42 delay(1000);
43 pinMode(PWM1, OUTPUT);
44 pinMode(PWM2, OUTPUT);
45 pinMode(PWM3, OUTPUT);
46 pinMode(PWM4, OUTPUT);
47 pinMode(PWM5, OUTPUT);
48 pinMode(PWM6, OUTPUT);
49 pinMode(PWM7, OUTPUT);
50 pinMode(PWM8, OUTPUT);
51 pinMode(PWM9, OUTPUT);
52 }
53
54 void loop ()
55 {
56   if (Serial.available())
57   {
58     cadena = String("");
59     while (Serial.available())
60     {
61       cadena = cadena + char(Serial.read());
62       delay(1);
63     }
64     partirCadena();
65     regulador = dato.toInt();
66     Serial.println(regulador);
67
68     if (led == "AzulReal")
69     {
70       analogWrite(PWM1, regulador);
71     }
72     if (led == "Azul")
73     {
74       analogWrite(PWM2, regulador);
75     }
76     if (led == "Blanco")
77     {
78       analogWrite(PWM3, regulador);
79     }
80     if (led == "Rojo")
81     {
82       analogWrite(PWM4, regulador);
83     }
84     if (led == "Verde")
85     {
86       analogWrite(PWM5, regulador);
87     }
88   }
89 }
    
```

Figura 17 Entorno de compilación de programación [22]

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que hicieron posible el desarrollo de este proyecto: académicos de biología marina y estudiosos del mar, pero en especial al Doctor Tinoco por su imprescindible guía, a mi madre por su apoyo en los momentos de desaliento y a mis profesores.

REFERENCIAS

- [1] González Ferrer, Caballero, H. (Ed.) (2004) Corales en el acuario marino.. p. 246-249
- [2] Hughes, T. P., Kerry, J. T., Álvarez-Noriega, M., Álvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., ... Wilson, S. K. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543(7645), 373–377. doi:10.1038/nature21707
- [3] <https://www.siled.com.mx/catalogos/potencia/files/leds%20de%20potencia.pdf> (Última consulta: 3 de Diciembre de 2019).
- [4] Cledón, M., Theobald, N., Gerwinski, W., & E. Penchaszadeh, P. (2006). Imposex and organotin compounds in marine gastropods and sediments from the Mar del Plata coast, Argentina. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 86(4), 751-755. doi:10.1017/S002531540601366X
- [5] Barton, J. A., Willis, B. L., & Hutson, K. S. (2015). Coral propagation: a review of techniques for ornamental trade and reef restoration. *Reviews in Aquaculture*, 9(3), 238–256. doi:10.1111/raq.12135
- [6] <https://m.elmostrador.cl/agenda-pais/vida-en-linea/2016/12/25/el-paraiso-perdido-la-crisis-en-la-gran-barrera-de-coral/> (Última consulta: 3 de Diciembre de 2019).
- [7] Fredrik Moberg, Carl Folke, Ecological goods and services of coral reef ecosystems, *Ecological Economics*, Volume 29, Issue 2, 1999, Pages 215-233, ISSN 0921-8009
- [8] Abe, F., Albrow, M., Amidei, D., Anway-Wiese, C., Apollinari, G., Areti, H., ... Bacchetta, N. (1994). Measurement of the B⁺ and B⁰ meson lifetimes. *Physical Review Letters*, 72(22), 3456–3460. doi:10.1103/physrevlett.72.3456
- [9] <https://www.topshelfaquatics.com/product/tsa-bioshock-cut-to-order/> (Última consulta: 3 de Diciembre de 2019).
- [10] Aronson, R. B., & Precht, W. F. (2006). Conservation, precaution, and Caribbean reefs. *Coral Reefs*, 25(3), 441–450. doi:10.1007/s00338-006-0122-9
- [11] Zimmer B. 2006. Coral reef restoration: an overview. In: Precht WF, ed. *Coral Reef Restoration Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- [12] Kaufman LS. 2006. If you build it, will they come? Toward a concrete basis for coral reef gardening. In: Precht WF, ed. *Coral Reef Restoration Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 119–142.
- [13] Wapnick C, McCarthy A. 2006. Monitoring the efficacy of reef restoration projects: where are we and where do we need to go? In: Precht WF, ed. *Coral Reef Restoration Handbook*. Boca Raton: CRC Press, 339–350.
- [14] Nedimyer, Gaines & Roach. *Coral Tree Nursery: An innovative approach to growing corals in an ocean-based field nursery*. Coral Restoration Foundation, 112 Garden Street, Tavernier, Florida, 33070, USA.(2011).
- [15] Barton, J. A., Willis, B. L., & Hutson, K. S. (2015). Coral propagation: a review of techniques for ornamental trade and reef restoration. *Reviews in Aquaculture*, 9(3), 238–256. doi:10.1111/raq.12135.
- [16] Biología marina, Pablo E. Penchaszadeh, Martín I. Brögger, Eudeba, 2006.
- [17] <https://marysherwoodlifestyles.com/brilliant-ideas-that-dont-leave-you-in-the-dark/> (Última consulta: 3 de Diciembre de 2019).
- [18] *Procesos térmicos en energía solar* John A. Duffie, William A. Beckman Grupo Cero, 1979
- [19] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/wien.html> (Última consulta: 3 de Diciembre de 2019).
- [20] Donat-P. Häder,*a Craig E. Williamson. Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors. 2014. DOI: 10.1039/c4pp90035a.
- [21] *Transferencia de calor* J. P. Holman, McGraw-Hill, 1998.
- [22] *Arduino. Guía práctica de fundamentos y simulación*. Eugenio López Roa. Ra-Ma, 2016.
- [23] Fang Lin Luo, Hong Ye. *Power Electronics: Advanced Conversion Technologies* 2010. 319-350.
- [24] *El gran libro de SolidWorks*. Sergio Gómez González. Marcombo, 2007
- [25] *MIT App Inventor 2*. Hal Abelson, Marisol Díaz, Susan Lane, Karen Lang, Drew Nichols, Evan Patton, Jeff Schiller, Josh Sheldon, Selim Tezel. Massachusetts, Estados Unidos