



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Profesional de Física

**Estimación del tamaño de cianobacterias haciendo uso
de la difracción de Fraunhofer**

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

Modalidad M3 Suficiencia Profesional

AUTOR

Wilson Alipio ROSADO ZAVALA

ASESOR

Dr. Jaime Francisco VENTO FLORES

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Rosado, W. (2018). *Estimación del tamaño de cianobacterias haciendo uso de la difracción de Fraunhofer*. [Monografía técnica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Físicas, Escuela Profesional de Física]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE MONOGRAFÍA TÉCNICA PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Siendo las 11:00 horas del martes 31 de julio de 2018, en el Salón de Grados de la Facultad de Ciencias Físicas (Auditorio 109), bajo la Presidencia del Lic. Raúl Gregorio Reyes Vega (Presidente), Lic. Malco Hayti Reyes Sifuentes (Miembro), y el Dr. Jaime Francisco Vento Flores (Asesor), se dió inicio a la Sesión Pública de Sustentación de Monografía Técnica para la Licenciatura en Física, mediante la Modalidad M3 – Por Suficiencia Profesional, del Bachiller:

WILSON ALIPIO ROSADO ZAVALETA

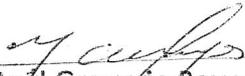
Dando lectura al Resumen del Expediente, el Presidente del Jurado, invitó al Bachiller Wilson Alipio Rosado Zavaleta, a realizar una exposición del Trabajo de Monografía Técnica titulada: "Estimación del tamaño de cianobacterias haciendo uso de la difracción de Fraunhofer".

Concluida la exposición del candidato y luego de las preguntas de rigor por parte del Jurado, el Presidente, invitó al Bachiller y al público a abandonar momentáneamente la Sala de Sesión, para dar paso a la deliberación y calificación por parte del Jurado. Asimismo, se verificó que el promedio obtenido por el bachiller en el VIII Ciclo de Actualización Profesional es de quince (15).

Al término de la deliberación del Jurado el Lic. Raúl Gregorio Reyes Vega, invitó al candidato y al público a pasar a la Sala de Sesión, para dar lectura al resultado de la deliberación. Ha obtenido la calificación de:

15	17	16
.....
NOTA DEL VIII CAP	NOTA DE LA SUSTENTACIÓN DE LA MONOGRAFÍA	PROMEDIO

Finalmente, el Presidente del Jurado, propone al Consejo de la Facultad que se le declare Licenciado en Física al Bachiller Wilson Alipio Rosado Zavaleta En virtud de haber obtenido un promedio de...Diecisiete..... (17). Según el artículo 46° del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ciencias Físicas. Siendo las 12.20...Horas, se levanta la Sesión.


Lic. Raúl Gregorio Reyes Vega
PRESIDENTE


Lic. Malco Hayti Reyes Sifuentes
MIEMBRO


Dr. Jaime Francisco Vento Flores
ASESOR

DEDICATORIA

A mi familia por su comprensión y a mis alumnos que me han motivado mucho para mejorar mi didáctica en la enseñanza de la física.

Resumen

Trata sobre un método para determinar el tamaño de cianobacterias haciendo uso de la difracción de campo lejano también conocido como difracción de Fraunhofer.

Se han definido algunos conceptos fundamentales sobre bacterias, acentuando nuestra atención en una familia de ellas llamadas cianobacterias cuya característica anatómica principal es ser alargada y se aprovechó esto para usarlo como un obstáculo al incidir luz verde y así producir su patrón de difracción.

Para obtener el espectro de difracción limpio se trató de minimizar los efectos de reflexión, refracción, interferencia y reflexión interna total. Al incidir luz verde en las cianobacterias (obstáculos) se produjo un patrón de difracción en la cual hemos medido su tamaño luego se calculó su tamaño real haciendo uso de una regresión lineal, dando un resultado muy conforme al tamaño de las cianobacterias de los humedales de Ventanilla.

Contenido

CAPÍTULO 1	1
Introducción	1
CAPÍTULO 2	3
CONCEPTOS BÁSICOS DE MICROBIOLOGÍA.....	3
2.1 Introducción	3
2.2 Organismo vivo.....	3
2.2 Microorganismos:	3
2.4 Cianobacterias:.....	4
2.5 Importancia biológica de los microorganismos	7
CAPITULO 3	9
Elementos de la teoría óptica	9
3.1 Introducción	9
3.2 Reflexión de la luz.....	9
3.3 Refracción de la luz	10
3.4 Reflexión interna total.....	10
3.5 Física del láser	12
3.6 Principio de Huygens.....	14
3.7 Principio de Huygens-Fresnel	15
3.8 Interferencia	16
3.9 Difracción	19
3.10 Difracción de Fraunhofer en una rendija	21
Capitulo 4	23
Resultados	23
4.1 Medidas de los anchos principales de los espectros de difracción.....	23
4.2 Medida de cianobacterias de los humedales de ventanilla.	23

4.3 Análisis de consistencia.....	25
Capítulo 5	27
Conclusión	27
Referencias bibliográficas	28
APENDICE A	29
Difracción de Fraunhofer.....	29
Apéndice B	35
Regresión lineal	35

CAPÍTULO 1

Introducción

La presente investigación, se refiere a la determinación de la medida del tamaño de una clase de bacterias, llamadas cianobacterias, haciendo uso de un tema de la teoría óptica llamada, difracción de campo lejano.

De la labor desarrollada activando los clubes de ciencias en los centros educativos tanto nacionales como particulares, se encontró muchas dificultades en la interpretación de las imágenes producidas por la luz láser, al incidir en cianobacterias. Para dar una solución a este problema se recurre tanto a la óptica geométrica como a la ondulatoria.

El objetivo de esta monografía es determinar el tamaño longitudinal de las cianobacterias encontradas en humedales y charcos, las mediciones se realizan en la pantalla, en donde aparece el patrón de difracción, se toma como unidad de medida la separación de los dedos. Para trabajos futuros usaremos como muestra una colonia de bacterias.

En el capítulo 2 se hace una breve descripción de bacterias acentuando nuestra atención en una clase especial llamados cianobacterias puesto que el tamaño de estas bacterias oscilan entre unas micras hasta unos 50 micras cuyas medidas son aproximadamente la medida de la longitud de la luz y además por la importancia que tiene en la generación de vida en nuestro planeta.

En el capítulo 3 desarrollamos conceptos básicos de óptica geométrica y ondulatoria tales como de las leyes de reflexión, refracción, reflexión interna total e interferencia.

Hubo dos descubrimientos impresionantes que cambiaron la forma de ver el mundo físico en el Siglo XX: la relatividad y mecánica cuántica. En la mecánica cuántica la revolución ha sido profunda, de tal manera que se han generado muchos descubrimientos y uno de ellos fue el descubrimiento de la luz láser por el físico Americano Roy Glauber (premio nobel de física 2005) que será utilizado en el presente trabajo.

Nuestra atención radica analizar el patrón de difracción de Fraunhofer producido por un obstáculo, para esto se diseñó el experimento y para su veracidad se hace un desarrollo analítico de la difracción de Fraunhofer, más información se encuentra en el apéndice A.

En el capítulo 4 analizamos información que están en la literatura de microbiología y óptica ondulatoria.

CAPÍTULO 2

CONCEPTOS BÁSICOS DE MICROBIOLOGÍA

2.1 Introducción

Actualmente existe una gran necesidad de entender a las bacterias ya que estos fueron los primeros organismos vivos del planeta, viven prácticamente en cualquier lugar en donde la vida es posible, son tan numerosas que cualquier otra clase de organismos y constituyen probablemente la mayor componente de la biomasa terrestre.

Todo el ecosistema depende de sus actividades e influyen en la sociedad humana de formas innumerables. Por, ello, la microbiología moderna es una disciplina amplia con muchas especialidades diferentes; posee una enorme repercusión sobre la medicina, agronomía, ciencia de los alimentos, ecología, genética, bioquímica y biología molecular.

2.2 Organismo vivo

Un organismo vivo es cualquier entidad biológica capaz de transferir o replicar material genético, estos no aparecieron al azar en la faz terrestre debe existir una regla de formación de las especies, desde el periodo más remoto de la historia del planeta se ha visto que los seres orgánicos se parecen entre sí, en grados descendentes, de modo que pueden clasificarse de grupos subordinados a grupos. Esta clasificación no es arbitraria y como afirma Charles Darwin “*creo que la ordenación de los grupos dentro de cada clase para que sea natural debe ser rigurosamente genealógica.*”

2.2 Microorganismos:

Microorganismo, también, llamado microbio u organismo microscópico, es un ser vivo que sólo puede visualizarse con el microscopio. La ciencia que estudia a los microorganismos es la microbiología. Microbiología etimológicamente proviene del griego, micro: diminuto, pequeño; bio: vida y logos: estudio o tratado. Los microorganismos son organismos dotados de individualidad que presentan, a diferencia de las plantas y los animales, una organización biológica elemental. En su mayoría son unicelulares, aunque en

algunos casos se trate de organismos cenóticos compuestos por células multinucleadas, o incluso multicelulares.

Dentro de los microorganismos se encuentran organismos unicelulares procariotas, como las bacterias, y eucariotas, como los protozoos, una parte de las algas y los hongos, e incluso los organismos de tamaño ultramicroscópico, como los virus. Mucho antes del descubrimiento de los microorganismos, la humanidad ya conocía algunos procesos debido a la actividad vital de estos, por ejemplo: la fermentación del jugo de uvas, de la leche, etc.

En las primeras etapas de la microbiología, los médicos y naturalistas se esforzaron por descubrir las causas de las enfermedades que asolaban a la sociedad, como por ejemplo la lepra, viruela, peste, tifus, etc.

El primero que vio y describió los microbios fue el holandés Anthony van Leewenhock quien construyó microscopios simples con aumentos de 300 veces.

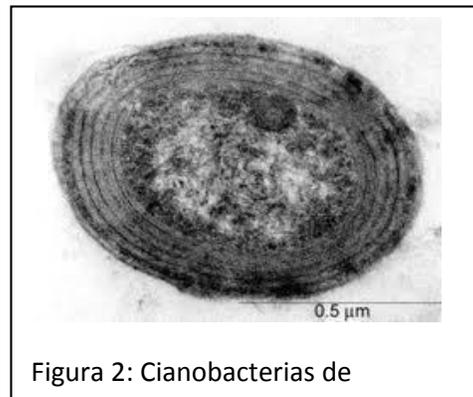
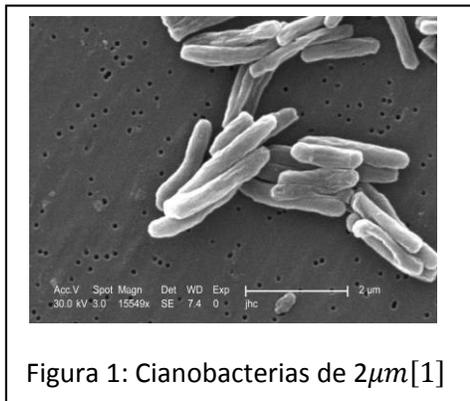
Luego en el siglo XIX se construyen microscopios más complejos y en 1860, Pasteur demostró la naturaleza microbiana de la fermentación alcohólica, láctea, acética y descubrió la existencia de una forma de vida en ausencia de aire (anaerobiosis) en algunos microorganismos. Otro científico, Robert Koch, también contribuyó al desarrollo de esta ciencia.

2.4 Cianobacterias:

Para entender qué son las cianobacterias, debemos comprender qué es una bacteria y en qué consiste la fotosíntesis oxigénica. Se llama bacteria a un microorganismo que dispone de una célula (unicelular) cuyo núcleo no está diferenciado.

Su capacidad para desarrollar la fotosíntesis oxigénica fue vital en la evolución de la biosfera, que consiste en tomar hidrogeno del agua y liberar oxígeno de esta manera, la atmósfera terrestre comenzó a poblarse de este gas, las cianobacterias contribuyeron a que aparezcan los metabolismos aerobios.

Las cianobacterias constituyen un *phylum* (categoría taxonómica que agrupa a los organismos relacionados entre si en el tiempo, por vía de descendencia evolutiva, desde sus primeros representantes hasta los actuales) dentro del dominio de las bacterias se trata de los únicos organismos procariontes que desarrollan fotosíntesis oxigenica. Cabe destacar que, antiguamente, estos seres eran conocidos como algas cianofíceas, algas cianófitas o algas verdeazuladas. Sin embargo, cuando fue descubierta, la diferencia entre las células eucariotas y las células procariotas, comenzó a imponerse la idea de cianobacteria. En las figuras del 1 al 9 se muestran cianobacterias de diferentes tamaños.



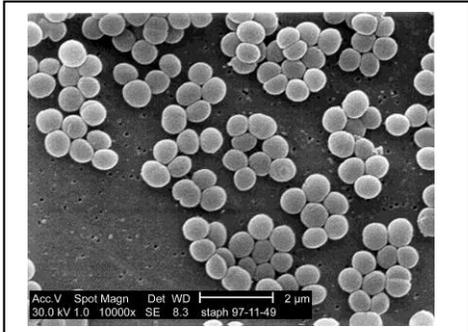


Figura 3: Cianobacterias de $2\mu m$ [1]



Figura 4: Cianobacteria de $20\mu m$ [1]



Figura 5: Cianobacteria de $10\mu m$ [1]

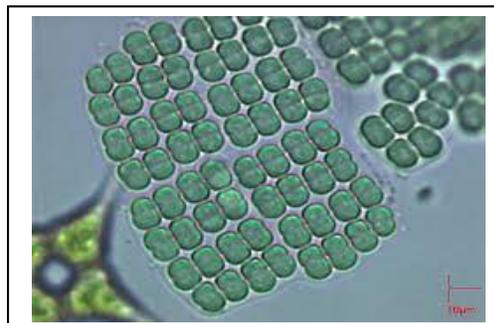


Figura 6: Cianobacteria de $10\mu m$ [1]



Figura 7: cianobacterias de $20\mu m$ [1]

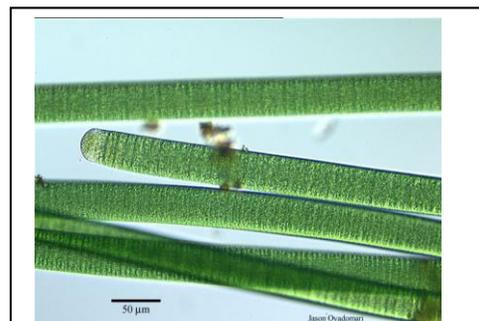


Figura 8: Cianobacterias de $50\mu m$ [1]



Figura 9: cianobacterias de $10\mu\text{m}$ [1]

Las células de las cianobacterias suelen ser más grandes que las células del resto de las bacterias. Una descripción detallada de bacterias se encontrará en[3].

2.5 Importancia biológica de los microorganismos

Los microorganismos cumplen un papel importante en la regulación del ecosistema, estos actúan como saprófitos, descomponiendo la materia, otros como autótrofos, fijando gases atmosféricos, también podemos encontrarlos en simbiosis con otro ser vivo y por último, otros pueden comportarse como parásitos u oportunistas provocando enfermedades. Los microorganismos autótrofos y los descomponedores juegan un papel crucial en la transformación de la materia, estando implicados en los ciclos geoquímicos del carbono, nitrógeno, hierro y azufre algunos de estos microorganismos se muestra en las figuras 10 y 11. Actualmente, han aplicado esta capacidad de transformación de la materia de los

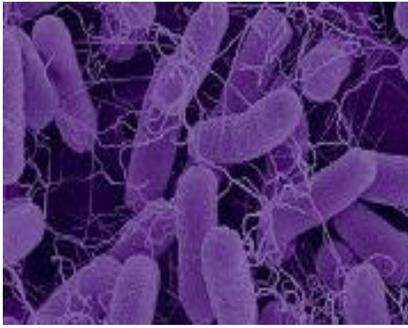


Figura 10: Microorganismos [3]



Figura 11: Microorganismos[3]

microorganismos en la lucha contra la contaminación del medio ambiente. Esta aplicación recibe el nombre de biorremediación.

Debido al tamaño que tienen los microorganismos, que están en el orden de unos pocos micrómetros, nos lleva a hacer un estudio de estos usando la difracción de campo lejano, teniendo como radiación la luz láser que será desarrollado en el siguiente capítulo.

CAPITULO 3

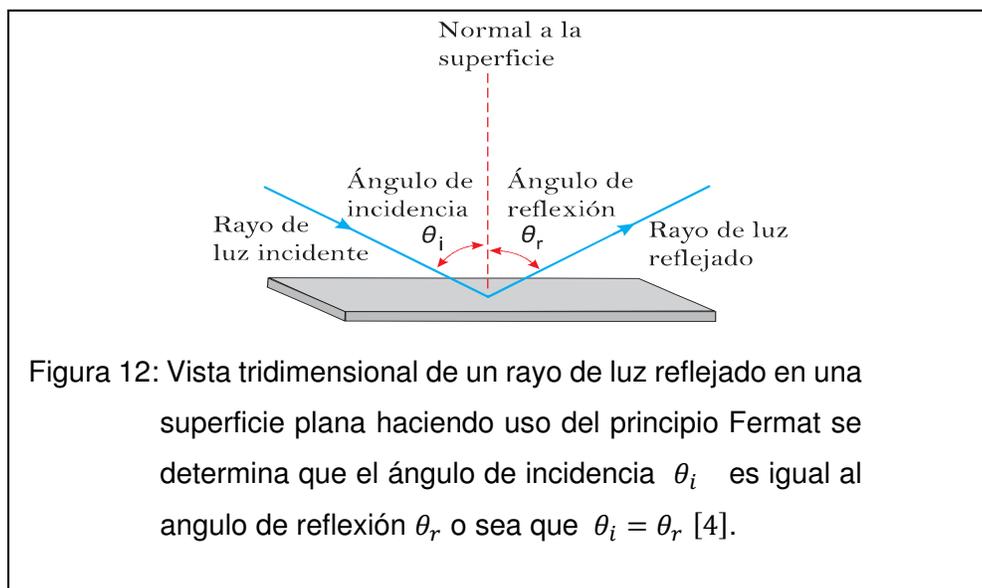
Elementos de la teoría óptica

3.1 Introducción

Después de muchos episodios del desarrollo de la teoría electromagnética en la historia de la ciencia, actualmente contamos con las herramientas adecuadas para estudiar el universo de grandes dimensiones así como el de pequeñas dimensiones, en lo que sigue se hará una revisión ligera de los conceptos y definiciones de reflexión, refracción, reflexión interna total, luz laser, interferencia y difracción. Teniendo presente que el fin de este capítulo, es la medida del tamaño de una clase de bacterias, llamadas cianobacterias, usando la difracción de Fraunhofer.

3.2 Reflexión de la luz

Regreso de los rayos de luz al incidir en una superficie como muestra la figura 12, de tal manera que el ángulo con el cual regresa determinado rayo, es igual al ángulo con el cual llegó a la superficie con respecto a la normal.



Cuando la superficie reflectora es irregular, la luz regresa en direcciones irregulares, y a esto se le llama *reflexión difusa*. En general, la reflexión es el rebote de una partícula u onda que choca con una frontera entre dos medios.

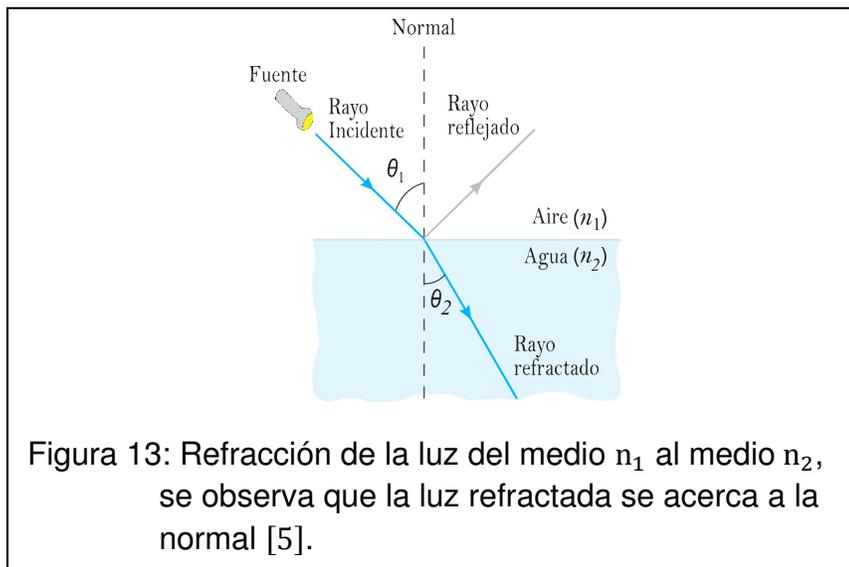
3.3 Refracción de la luz

Desviación de un rayo de luz al pasar de un medio transparente a otro también transparente con índices de refracción diferentes. Este fenómeno ocurre porque los rayos de luz al pasar de un medio a otro cambian su rapidez siempre que los medios sean transparentes.

La relación entre el ángulo de incidencia y el ángulo refractado, figura 13, fue determinado por Willebrord Snell (1580-1626), que está dado por la ecuación (3.1) en la cual se observa que el rayo refractado se acerca a la normal si $n_2 > n_1$.

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2 \quad (3.1)$$

donde, n_1 es el índice de refracción del medio 1 (aire), n_2 es el índice de refracción del medio 2 (agua), θ_1 el ángulo de incidencia y θ_2 el ángulo de refracción.



3.4 Reflexión interna total

Este fenómeno se presenta cuando el rayo de luz incidente se refleja al 100% esto implica que no existe transmisión de la luz cuando este llega a la frontera entre dos medios siempre que $n_b < n_a$.

La figura 14 muestra que, a medida que aumentamos el ángulo de incidencia el ángulo refractado también aumenta hasta un valor límite que es de 90° a partir de ese valor todo el rayo incidente se refleja.

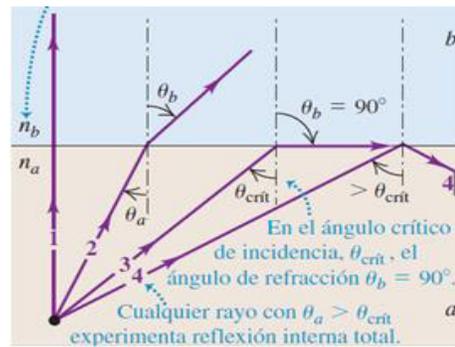


Figura 14: Muestra que mientras aumenta el ángulo de incidencia θ_a también aumenta el ángulo transmitido θ_b hasta un límite en el cual ya no existe transmisión [6].

Según la fig.14 muestra que es posible encontrar el ángulo crítico para dos materiales dados, si se iguala a $\theta_b = 90^\circ$ y haciendo uso de la ecuación (3.1) se obtiene:

$$\text{sen}\theta_c = \frac{n_b}{n_a} \quad (3.2)$$

donde θ_c es el ángulo crítico para la reflexión interna total, ésta ocurre solo cuando $n_b < n_a$. Una ilustración de este fenómeno es la figura 15, donde se muestra que la luz incidente inicialmente es transmitida del medio interno al externo, luego al aumentar el ángulo de incidencia ya no ocurre transmisión (reflexión interna total).

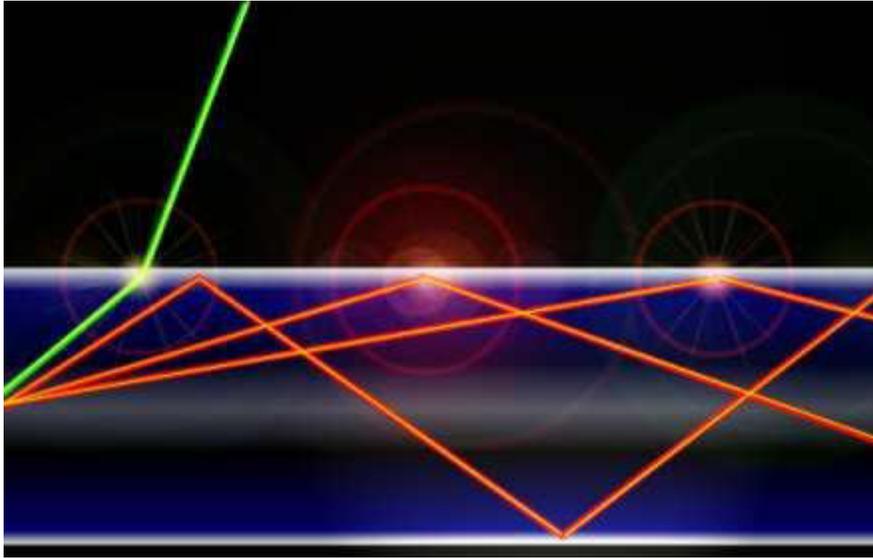


Figura 15. La imagen muestra la reflexión interna total de la luz.

3.5 Física del láser

El láser (Light amplification for stimulated emission, amplificación de luz por emisión estimulada de radiación).

La luz que emite el láser es coherente, esto significa que deben tener la misma longitud de onda, amplitud y una diferencia de fase constante, estas condiciones se muestran en las figuras 16,17 y 18. La primera explicación cuántica de este fenómeno fue dada por el americano Roy Glauber.

En la actualidad es muy usado la luz láser, así como en cirugía, cortes y soldaduras de partes muy pequeñas , se usan para leer CD y DVD , crear hologramas .En el presente trabajo se usaran laser como el de la figura 19, que es una laser verde con una longitud de onda de 532 nm .

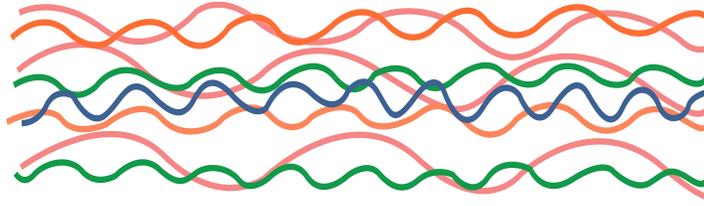


Figura 16: Luz blanca incoherente contiene ondas de muchas frecuencias, longitudes de onda y están desfasadas entre sí [7].

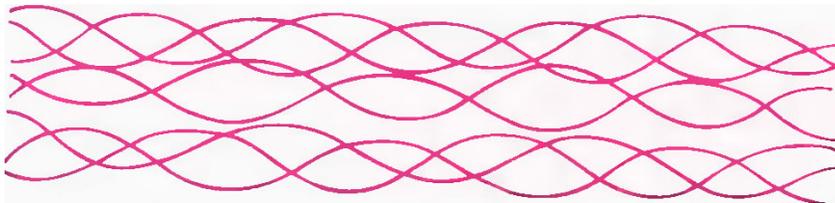


Figura 17: Luz de una sola frecuencia y longitudes de onda pero de muchas fases mezcladas [8].

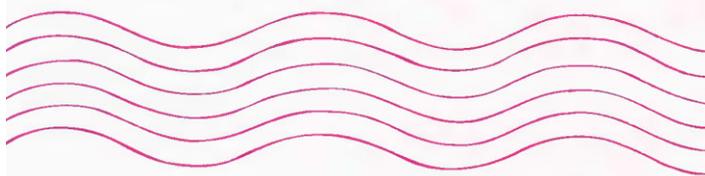


Figura 18: Luz coherente, todas las ondas son idénticas y están en fase es la característica principal de la luz laser[8].



Figura 19: Laser verd de longitud de onda 532nm.

3.6 Principio de Huygens

El científico holandés Christian Huygens (1629-1695), contemporáneo de Newton, propuso una teoría ondulatoria de la luz que se menciona así: *Cada punto en un frente de onda primario sirve como fuente de onditas esféricas secundarias tales que el frente de onda primario un momento más tarde es la envolvente de estas onditas.*

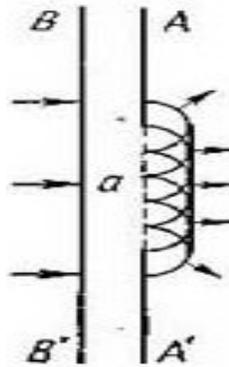


Figura 20: Difraccion de una onda plana al pasar por un orificio a de obstaculo AA'

Además, las onditas avanzan con una rapidez y frecuencia igual a la de la onda primaria en cada punto del espacio. La descripción grafica de este principio se ilustra en la figura 20.

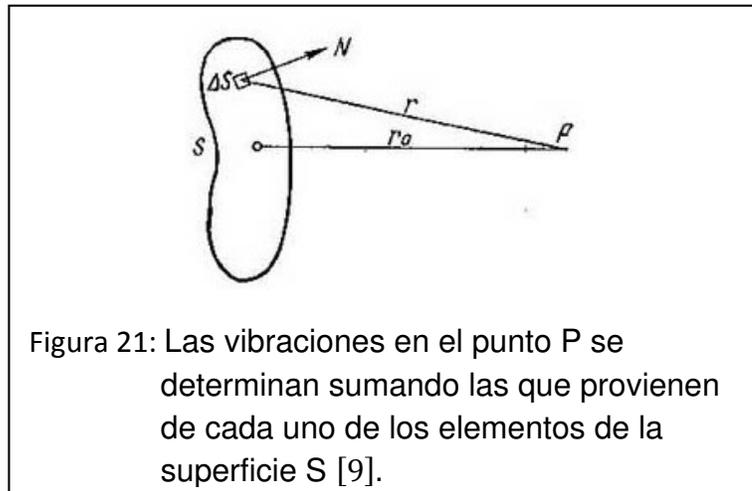
3.7 Principio de Huygens-Fresnel

La interpretación de Huygens sobre la difracción de la luz era incompleta porque no explicaba la interferencia y el esparcimiento de la luz, Fresnel incorporó los cambios de amplitud y fase al pasar la luz por una rendija o un obstáculo muy pequeño. Para explicar este fenómeno considero consideró una fuente S ver figura 21, donde la perturbacion ondulatoria creada por esta fuente en el punto P es dado por:

$$E_P = \int_S \frac{E_S}{r} \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} r + \varphi_S \right) ds \quad (3.3)$$

donde E_P es el campo eléctrico en el punto P, E_S es el campo eléctrico en la superficie S, r es la distancia de cualquier punto de la superficie S al punto P,

λ es la longitud de onda del rayo y φ_S es la fase inicial de la onda en cada punto de la superficie S.



3.8 Interferencia

El fenómeno de interferencia de la luz se observa en la naturaleza en múltiples manifestaciones como por ejemplo lo que muestra la figura 22.

Estas franjas se deben a la propiedad que tienen las ondas de luz de superponerse. *La interferencia óptica equivale a la interacción de dos o más ondas de luz que producen una irradiancia resultante que se desvía de la suma de las irradiancias componentes* (Eugene Hecht- 5ta edición- pág. 390).



Se considera el campo eléctrico de dos ondas según muestra la figura 23

$$\vec{E}_1(\vec{r}, t) = \vec{E}_{01} \cos(\vec{K}_1 \cdot \vec{r} - \omega t + \varepsilon_1) \quad (3.4)$$

y

$$\vec{E}_2(\vec{r}, t) = \vec{E}_{02} \cos(\vec{K}_2 \cdot \vec{r} - \omega t + \varepsilon_2) \quad (3.5)$$

La irradiancia en el punto P está dado por:

$$I = \langle \vec{E}^2 \rangle_T \quad (3.6)$$

Que es el promedio temporal de la intensidad del campo eléctrico al cuadrado.

Para calcular el valor de \vec{E}^2 se hará uso de la siguiente relación:

$$\vec{E}_1^2 = \vec{E}_1^2 + \vec{E}_2^2 + 2\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \quad (3.7)$$

Luego se toma promedio a la ecuación (3.7) se tiene la irradiancia dado por la ecuación (3.6) se obtiene

$$I = I_1 + I_2 + I_{12} \quad (3.8)$$

donde I_{12} es el término de interferencia que está dado por:

$$I_{12} = 2\langle \vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \rangle_T \quad (3.9)$$

Para calcular el valor del término de interferencia, usamos la fórmula para calcular el promedio temporal de una función $f(t)$ que esta dado por:

$$\langle f_t \rangle_T = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} f(t) dt' \quad (3.10)$$

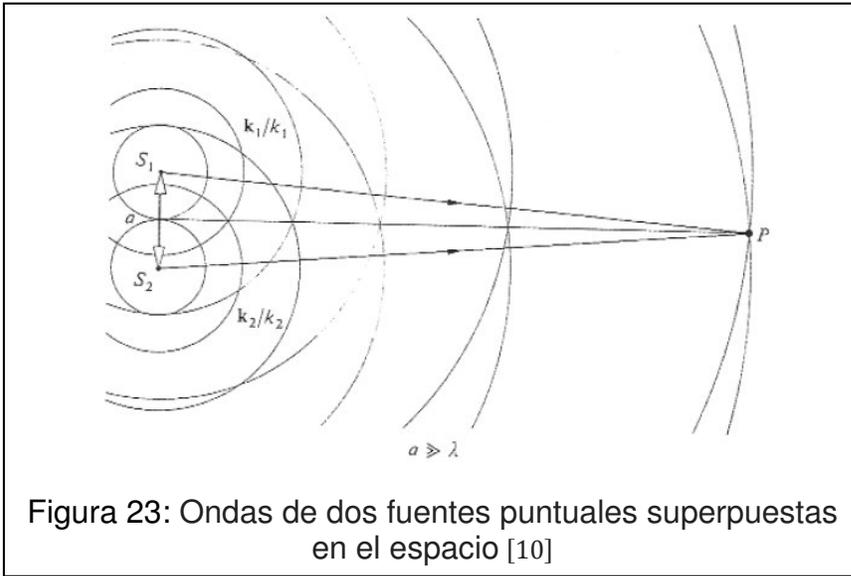
Luego de algunas operaciones se obtiene que:

$$I_{12} = \vec{E}_{01} \cdot \vec{E}_{02} \cos \delta \quad (3.11)$$

donde:

$$\delta = (\vec{K}_1 \cdot \vec{r} - \vec{K}_2 \cdot \vec{r} + \varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

Que es la diferencia de fase resultante de la combinación de una diferencia de longitud de camino y una diferencia de ángulo de fase inicial



De esto se deriva que la irradiancia total queda como:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \quad (3.12)$$

Casos particulares para la irradiancia dado por la ecuación (3.12) :

Caso 1

Si $\cos \delta = 1$, se obtiene la irradiancia máxima.

$$I_{max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \quad (3.13)$$

donde:

$\delta = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi$, a este estado se denomina interferencia constructiva total.

Caso 2

Si $\cos \delta = 0$, indica que las perturbaciones ópticas están desfasadas 90°

$$I = I_1 + I_2 \quad (3.14)$$

Caso 3

Si $\cos \delta = -1$, se obtiene irradiancia mínima.

$$I_{min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \quad (3.15)$$

donde

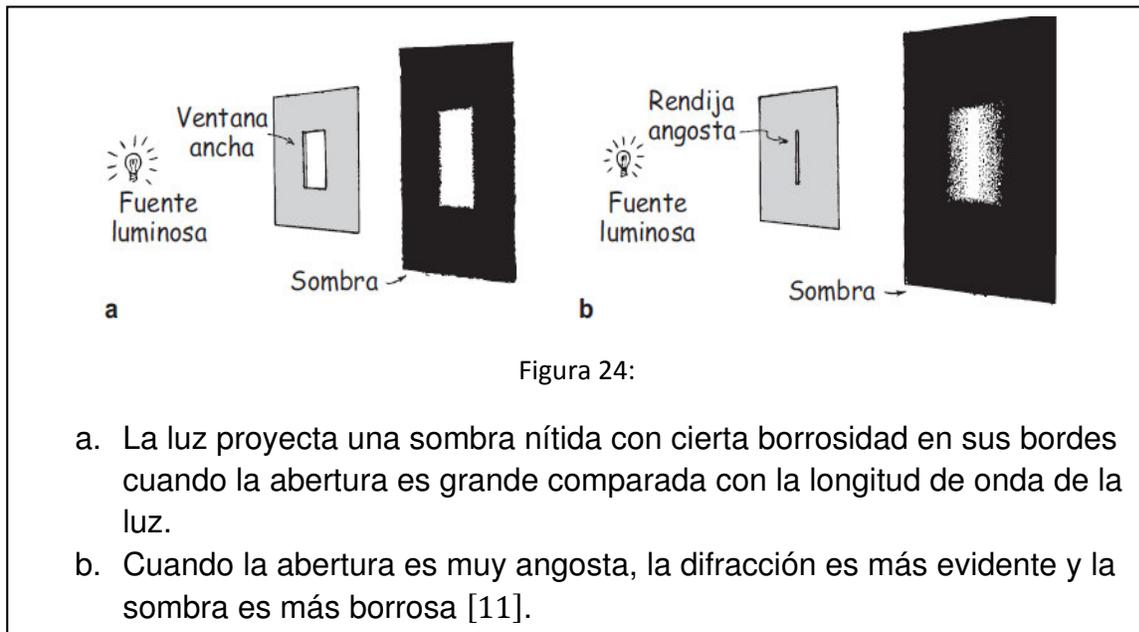
$\delta = \pm\pi, \pm3\pi, \pm5\pi, \dots$, a este estado se denomina interferencia destructiva total.

Para el caso en que $\vec{E}_{01} = \vec{E}_{02}$ y $I_1 = I_2 = I_0$ se llega a una expresión que toma la forma de,

$$I = 2I_0(1 + \cos\delta) = 4I_0 \cos^2 \frac{\delta}{2}. \quad (3.16)$$

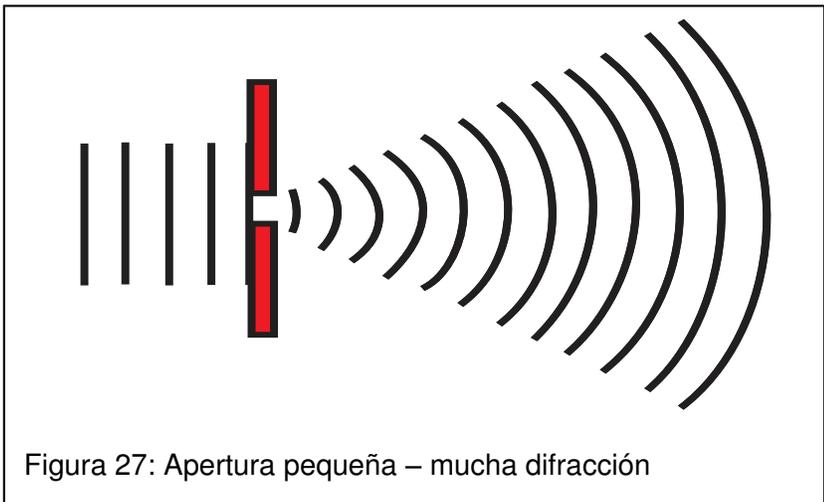
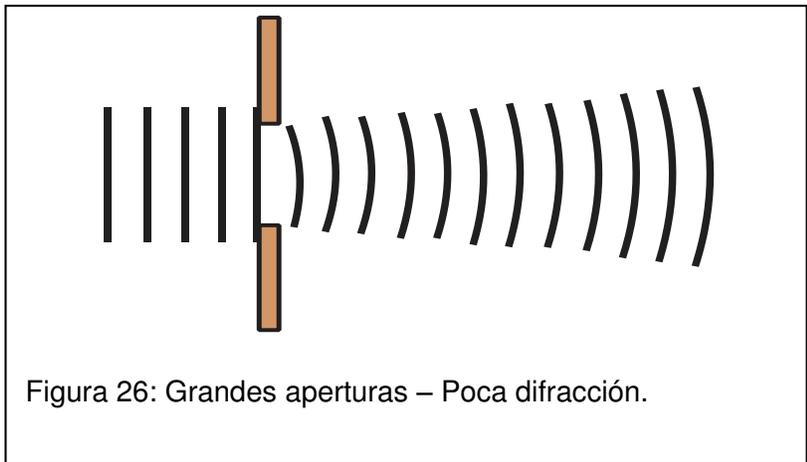
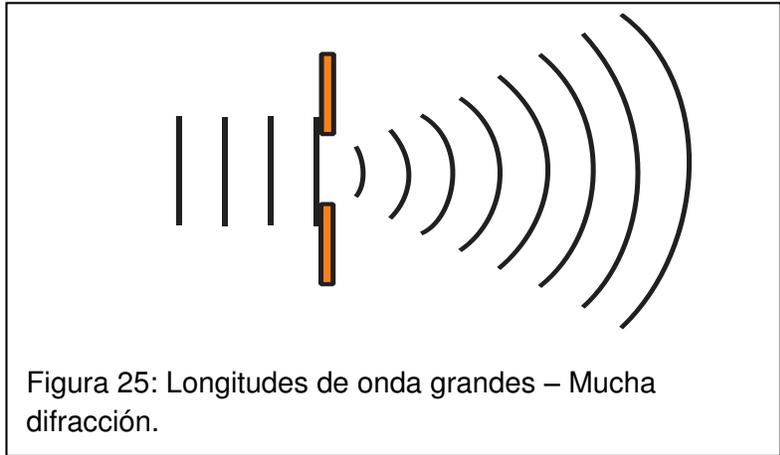
3.9 Difracción

Se entiende por difracción de la luz cualquier desviación de esta con respecto a su propagación rectilínea, siempre que esta no haya sido provocada por la reflexión o la refracción y este dentro del comportamiento ondulatorio de



la luz como el que se observa en la figura 24b .

En las figuras (25) y (27) se produce una difracción bastante acentuada cuando la longitud de onda del rayo de luz es aproximadamente igual al tamaño de la rendija mientras que si la longitud de onda de rayo de luz es muy pequeña comparada con el tamaño de la rendija esta diferencia grande hace que no exista difracción, como muestra la figura (26)



3.10 Difracción de Fraunhofer en una rendija

La difracción de Fraunhofer o también llamado difracción del campo lejano, es un patrón de difracción observado a gran distancia de la pantalla de difracción, con una fuente de luz que también queda a gran distancia de la pantalla, así para ambos casos el rayo de luz incidente es considerado como una onda plana.

Para obtener el patrón de difracción se harán las siguientes consideraciones como muestra la figura (28), el tamaño del obstáculo es aproximadamente igual a la longitud de onda del rayo de luz incidente monocromática ($a \sim \lambda$) además para obtener un patrón de difracción es necesario que $\lambda < a$ [14], la distancia del obstáculo al patrón de difracción es muy grande comparado con el tamaño de obstáculo ($D \gg a$).

Las magnitudes consideradas en la figura (28) son:

D: Distancia de la muestra a la pantalla, L: Tamaño de la muestra en la pantalla.

λ : Longitud de onda de la luz verde y a : Tamaño de la rendija o el obstáculo (tamaño de las cianobacterias).

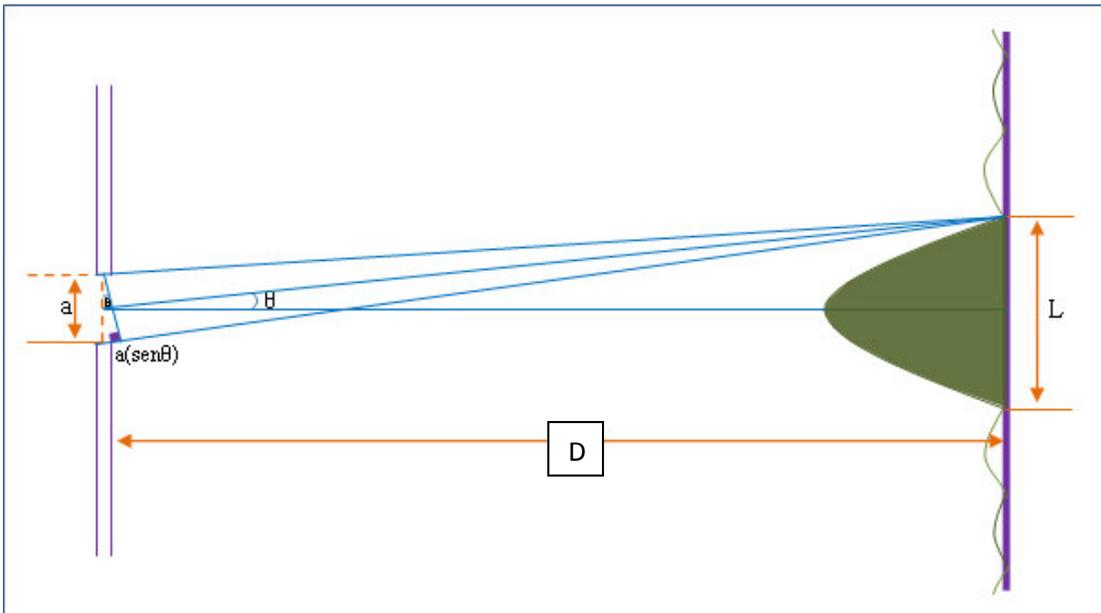


Figura 28: Esquema para el montaje que se usara para la medición del tamaño de las cianobacterias.

De la figura (28) obtenemos que,

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{L}{2D} \quad (3.17)$$

además:

$$\lambda = a \operatorname{sen} \theta \quad (3.18)$$

Haciendo que $\theta \rightarrow 0$, se obtiene que:

$$\operatorname{tg}\theta \approx \operatorname{sen} \theta \approx \theta \approx \frac{L}{2D} \quad (3.19)$$

Igualando (3.17) y (3.18) teniendo en consideración (3.19) obtenemos que:

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D} \quad (3.20)$$

Despejado L, tenemos

$$L = \frac{2\lambda}{a} D \quad (3.21)$$

Para hacer uso de una regresión lineal es necesario que en la ecuación (3.21) aparezca el sumando α , luego queda expresado así

$$L = mD + \alpha \quad (3.22)$$

Donde m toma el valor de:

$$m = \frac{2\lambda}{a} \quad (3.23)$$

en la cual m es una cantidad adimensional, además es muy aceptable para el caso en que el tamaño de la bacteria "a" es aproximadamente igual al tamaño de la longitud de onda " λ " del rayo de luz que incide sobre el ($a \sim \lambda$). Un análisis riguroso se encuentra en el apéndice A de esta monografía.

Capítulo 4

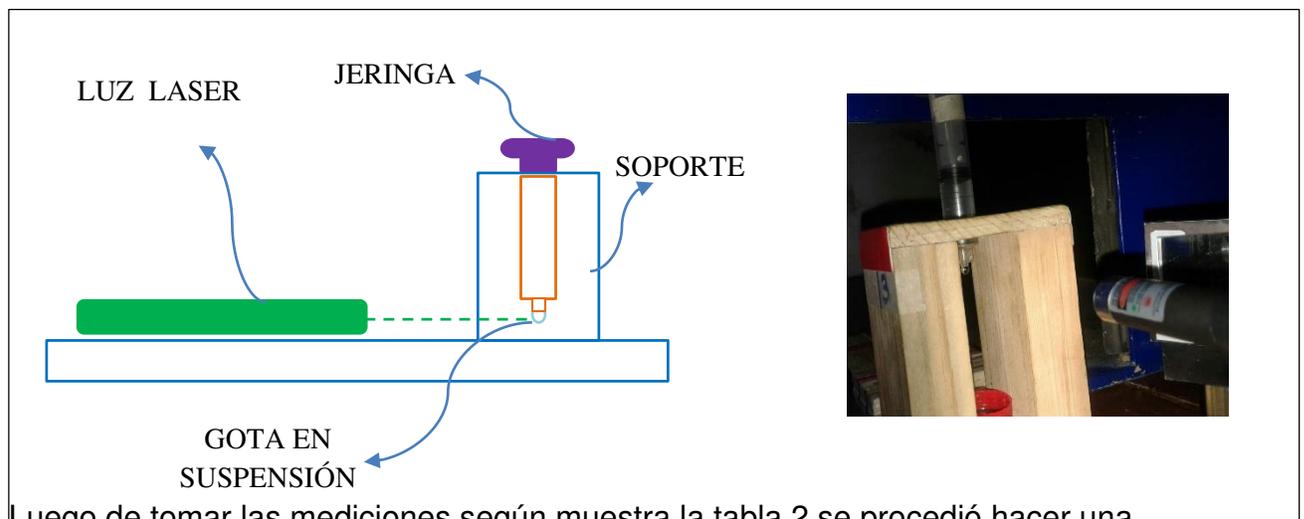
Resultados

4.1 Medidas de los anchos principales de los espectros de difracción.

Haciendo uso de la ecuación (3.21) se determinó, la longitud del ancho principal del espectro de las muestras de cianobacterias que están en la figuras del 1 al 9 los resultados se muestran en la tabla 1, además se incluyó la muestra de cianobacterias extraídas de los humedales y charcos, en la región callao, distrito de Ventanilla institución educativa nacional 5093 Antonio Raymondi , que cuyo trabajo fue presentado en la feria de MOSTRATEC(feria de ciencia y tecnología) realizado en Brasil 2017 [12] en la cual fue ganador en el área de matemática-física, que a continuación pasamos a explicar el proceso.

4.2 Medida de cianobacterias de los humedales de ventanilla.

Para la medición del tamaño de las cianobacterias, se ha hecho el montaje según la figura (29), en donde se muestra que la luz láser incide en la gota de agua suspendida, en donde están las cianobacterias, produciéndose un patrón de difracción en la pantalla, que fueron medias repetidas veces haciendo uso de una regla, luego de haber marcado dos puntos en la pantalla donde está el espectro.



Luego de tomar las mediciones según muestra la tabla 2 se procedió hacer una
Figura 29: Montaje del equipo para el experimento.

apéndice B.

donde se calculó que $m = 0,19$ y $\alpha = 0,051$ considerando estos valores la ecuación lineal final toma la forma siguiente:

$$L = 0.19D - 0.051$$

donde haciendo uso de la ecuación (3.23) se obtiene que $a=5,6\mu m$ que sería el tamaño de la cianobacterias en el umedal de la institución educativa nacional 5093 Antonio Raymondi (Ventanilla) con este tamaño podemos calcular el ancho principal de su espectro haciendo uso de la ecuación (3.21) el resultado se muestra en la última fila de la tabla 1.

Podemos considerar como buena medición porque la longitud de onda de la luz verde es $532\eta m$ y el tamaño del obstáculo es de $5,6\mu m$ cumparando estos valores resulta que el tamaño de las cianobacterias es aproximadamente 10,52 veces el tamaño de la longitud de onda de la luz verde.

Las figuras 30 y 31 que se presentan continuación ha sido fotografiadas en la institución educativa nacional Antonio Raymondi en la cual se observan anillos alrededor de las bacterias, a partir de estas evidencias se han tomado mediciones para luego hacerle un tratamiento según muestra el apéndice (B).

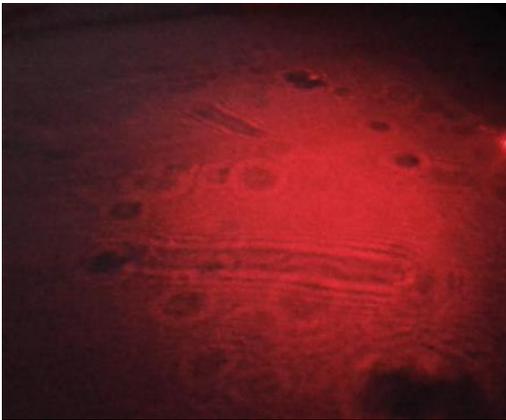


Figura 30: Muestra tomada de los humedales de Ventanilla.



Figura 31: Muestra tomada de un charco.

Tabla 1

Se muestran valores obtenidos de la literatura [1] y mediciones hechos por medio de difracción en los humedales en ventanilla.

	Longitud de onda de la luz. $\lambda(nm)$	Tamaño de cianobacterias $a(\mu m)$	Distancia de la muestra a la pantalla. $D(m)$	Longitud del ancho principal del espectro. $L(cm)$
Figura1	532	2	1	53.2
Figura 2	532	0,5	1	212,8
Figura 3	532	2	1	53,2
Figura 4	532	20	1	5,32
Figura 5	532	10	1	10.64
Figura 6	532	10	1	10,64
Figura 7	532	20	1	5,32
Figura 8	532	50	1	2,128
Figura 9	532	10	1	10,64
cianobacterias (ventanilla)	532	5,6	0,73	13,9

4.3 Análisis de consistencia.

A partir del apéndice A ecuación (A.18) en la cual

$$\beta = \frac{kD}{2} \text{Sen}\theta$$

hacemos que $D=a$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ y $\beta = \pi$ valido para el primer mínimo, se obtiene la

expresión $\text{Sen}\theta = \frac{\lambda}{a}$ que es similar a la ecuación (3.18) haciendo las

aproximaciones para θ se obtiene la ecuación (3.21) la cual esto significa que es consistente.

Capitulo 5

Conclusión

Haciendo uso de la difracción de Fraunhofer podemos determinar el tamaño de cianobacterias siempre que la longitud de onda de la luz láser sea aproximadamente igual al tamaño de la bacteria.

El resultado que muestra la tabla 1, en la fila de cianobacterias se obtiene un patrón de difracción cuya longitud del ancho principal es de 13,9cm usando la ecuación (3.21), con esto confirmamos que el tamaño real de las cianobacterias es de $5.6\mu\text{m}$ valor muy adecuado que aparecen en las bibliografías.

Referencias bibliográficas

- [1] <http://www.taxateca.com/filocyanobacteria.html>
- [2] Prescott Harley Klein, microbiología quinta edición pag.478.
- [3] <https://prezi.com/0p3hwovf-czk/importancia-de-los-microorganismos-en-el-ecosistema/>.
- [4] Giancoli , Física para ciencias e ingeniería ,volumen II , pág. 838.
- [5] Giancoli , Física para ciencias e ingeniería ,volumen II , pág. 850.
- [6] Sears.Zemansky, física universitaria, volumen II,decimosegunda edición pag.1130.
- [7] Paul G. Hewitt .Física conceptual, decimosegunda edición pag.574.
- [8] Paul G. Hewitt .Física conceptual, decimosegunda edición pag.575.
- [9] S.Frish,A. Timoreva , fisica general tomo III 2da edicion pag 89.
- [10] Eugene Hecht, Óptica , 5ta edición Pag.391
- [11] Paul G. Hewitt Fisica conceptual decimosegunda edición Pag.547
- [12] <https://peru21.pe/peru/peru-conquistó-primer-lugar-feria-escolar-importante-latinoamerica-382268>
- [13] Eugene Hecht , Óptica ,4ta edición pag.451
- [14] Sears.Zemansky,Física universitaria Undécima edición pag.1375.

APENDICE A

Difracción de Fraunhofer.

Cuando un rayo de luz llega a un obstáculo o una rendija se desvía el cual cambia su amplitud y su fase para un patrón de difracción es cercano estamos ante una difracción de Fresnel pero si el patrón de difracción está muy lejos estamos ante una difracción de Fraunhofer. Para que nuestras aproximaciones tengan coherencia deben tener un sustento teórico en la teoría electromagnética es lo que sustentamos de manera analítica a continuación:

De acuerdo a la figura 30 se deduce que el campo en P debido al segmento diferencial dy de la fuente es:

$$dE = \frac{\epsilon_L}{R} \text{Sen}(wt - kr) dy \quad (\text{A.1})$$

Para el cálculo del campo en P hacemos lo siguiente:

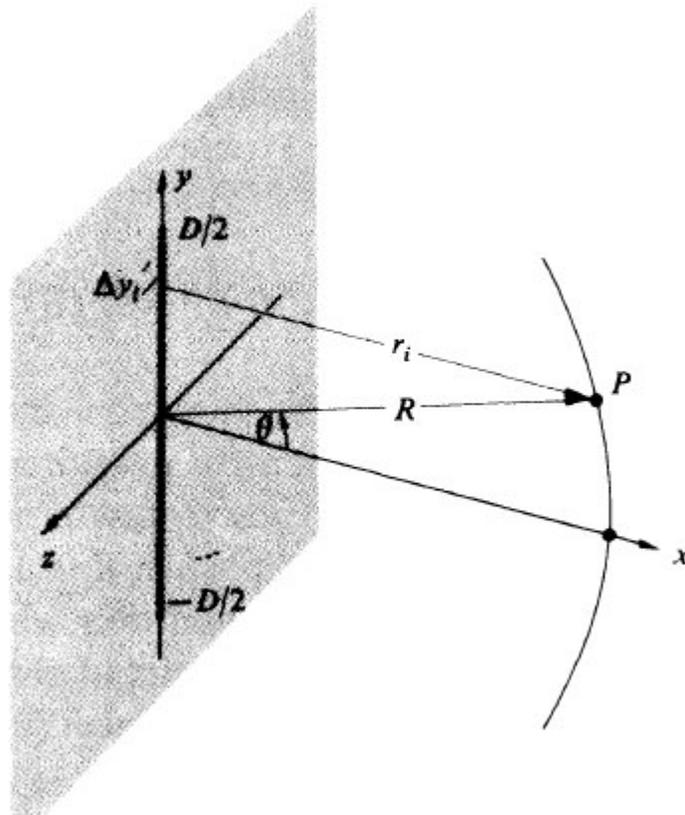


Figura 32: Una fuente lineal coherente de luz [13].

Usando ley de cosenos en la figura 32 obtenemos:

$$r^2 = R^2 + y^2 - 2Ry \cos(90 - \theta) \quad (A.2)$$

$$r^2 = R^2 + y^2 - 2Ry \sin \theta$$

$$\frac{r^2}{R^2} = 1 + \left(\frac{y}{R}\right)^2 - 2\frac{y}{R} \sin \theta$$

$$\frac{r}{R} = \left(1 + \left(\frac{y}{R}\right)^2 - 2\left(\frac{y}{R}\right) \sin \theta\right)^{1/2} \quad (A.3)$$

Puesto que $y \ll R$ esto significa que $\left(\frac{y}{R}\right)^2 \rightarrow 0$

Luego nuestra expresión queda

$$\frac{y}{R} = \left(1 - 2\frac{y}{R} \sin \theta\right)^{1/2} \quad (A.4)$$

haciendo que la función dependa de $\sin \theta$ y reemplazando $\sin \theta = \mu$

La función queda

$$f(\mu) = \left(1 - 2\frac{y}{R} \mu\right)^{1/2} \quad (A.5)$$

desarrollando esta función en una serie de Maclaurin:

$$f(\mu) = f(0) + f'(0) \frac{\mu}{1!} + f''(0) \frac{\mu^2}{2!} + f'''(0) \frac{\mu^3}{3!} + \dots + f^{(n)}(0) \frac{\mu^n}{n!} \quad (A.6)$$

$$f(0) = 1$$

$$f'(\mu) = \frac{1}{2} \left(1 - 2\frac{y}{R} \mu\right)^{-1/2} \left(-2\frac{y}{R}\right)$$

$$f'(\mu) = -\frac{y}{R} \left(1 - 2\frac{y}{R} \mu\right)^{-1/2}$$

$$f'(0) = -\frac{y}{R}$$

$$f''(\mu) = -\frac{y}{R} \cdot \frac{-1}{2} \left(1 - 2\frac{y}{R} \mu\right)^{-3/2} \left(\frac{-2y}{R}\right)$$

$$f''(\mu) = -\left(\frac{y}{R}\right)^2 \left(1 - 2\frac{y}{R} \mu\right)^{-3/2}$$

$$f''(0) = -\left(\frac{y}{R}\right)^2$$

Reemplazando estos valores en (A.6) se obtiene que:

$$f(\mu) = 1 + \left(-\frac{y}{R}\right) \frac{\mu}{1!} + \left(-\frac{y}{R}\right)^2 \frac{\mu^2}{2!} + \dots$$

$$f(\mu) = 1 - \frac{y}{R} \mu - \frac{\left(\frac{y}{R}\right)^2}{2} \mu^2 + \dots \quad (\text{A.7})$$

Reemplazando μ por $\text{sen}\theta$ obtenemos que

$$\frac{r}{R} = 1 - \frac{y}{R} \text{sen}\theta - \frac{y^2}{2R^2} \text{sen}^2\theta + \dots \quad (\text{A.8})$$

$$= 1 - \frac{y}{R} \text{sen}\theta - \frac{y^2}{2R^2} (1 - \cos^2\theta) \dots$$

$$= 1 - \frac{y}{R} \text{sen}\theta - \frac{y^2}{2R^2} + \frac{y^2}{2R^2} \cos^2\theta$$

$$\frac{r}{R} = 1 - \frac{y}{R} \text{sen}\theta - \frac{y^2}{2R^2} + \frac{y^2}{2R^2} \cos^2\theta$$

$$\frac{y}{R} = 1 - \frac{Y}{R} \text{sen}\theta + \frac{y^2}{2R^2} \cos^2\theta$$

$$r = R - y \text{sen}\theta + \frac{y^2}{2R} \cos^2\theta + \dots \quad (\text{A.9})$$

El tercer término de la ecuación (A.9) su contribución es muy poco a la fase por lo cual se puede eliminar.

Ahora se ve que r es lineal en "y" a esto se llama condición de Fraunhofer ,

$$r = R - y \text{sen}\theta \quad (\text{A.10})$$

Por otra parte de (A.1) sabemos que ,

$$dE = \frac{\varepsilon_L}{R} \text{sen}(wt - kr) dy \quad (\text{A.11})$$

que es el campo en P figura (32) debido al segmento diferencial dy de la fuente.

Reemplazando (A.10) en (A.11) se obtiene que,

$$E = \frac{\epsilon_L}{R} \int_{-D/2}^{D/2} \text{sen}(wt - k(R - y \sin \theta)) dy$$

$$E = \frac{\epsilon_L}{R} \int_{-D/2}^{D/2} \text{sen}(wt - kR + yk \text{sen } \theta) dy \quad (\text{A.12})$$

para integrar hacemos un cambio de variable

$$wt - kR + yk \text{sen } \theta = \mu ; k \text{sen } \theta dy = d\mu \quad (\text{A.13})$$

$$dy = \frac{d\mu}{k \text{sen } \theta}$$

La integral queda como

$$\int \text{Sen}\mu \left(\frac{d\mu}{k \text{sen } \theta} \right) = \frac{1}{k \text{sen } \theta} \int \text{Sen}\mu d\mu \quad (\text{A.14})$$

integrando resulta

$$= \frac{1}{k \text{sen } \theta} (-\cos \mu) = -\frac{\cos \mu}{k \text{sen } \theta} \quad (\text{A.15})$$

reemplazando en el cambio de variable que se a hecho en (A.13) resulta

$$-\frac{\cos(wt - kR + yk \text{sen } \theta)}{k \text{sen } \theta} \quad (\text{A.16})$$

evaluando entre los limites según se muestra en (A.12)

$$E = -\frac{\epsilon_L}{R} \left[\frac{\cos(wt - kR + yk \text{sen } \theta)}{k \text{sen } \theta} \right]_{-D/2}^{+D/2} = -\frac{\epsilon_L}{Rk \text{sen } \theta} [\cos(wt - kR + yk \text{sen } \theta)]_{-D/2}^{+D/2}$$

$$= -\frac{\epsilon_L}{Rk \text{sen } \theta} \left[\cos(wt - kR + \frac{kD}{2} \text{sen } \theta) - \cos(wt - kR - \frac{kD}{2} \text{sen } \theta) \right]$$

$$= -\frac{\epsilon_L}{Rk \text{sen } \theta} \left[-2 \text{sen}(wt - kR) \cdot \text{sen} \left(\frac{kD}{2} \text{sen } \theta \right) \right] = \frac{2\epsilon_L \text{sen} \left(\frac{kD}{2} \text{sen } \theta \right) \text{sen}(wt - kR)}{Rk \text{sen } \theta}$$

$$E = \frac{\epsilon_L D}{R} \cdot \frac{\text{sen} \left(\frac{kD}{2} \text{sen } \theta \right)}{\frac{kD}{2} \text{sen } \theta} \cdot \text{sen}(wt - kR) \text{ haciendo: } \beta = \frac{kD}{2} \text{sen } \theta$$

$$E = \frac{\epsilon_L}{R} \cdot \frac{\text{sen } \beta}{\beta} \cdot \text{sen}(\omega t - kR) . \quad (\text{A.17})$$

Hacienda uso de la ecuación $\langle f_t \rangle_\tau = \frac{1}{\tau} \int_t^{t+\tau} f_t' dt'$ para hallar la irradiancia.

Calculo de la irradiancia,

$$\begin{aligned} I_{(\theta)} &= \langle E^2 \rangle = \left\langle \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \cdot \frac{\text{sen } \beta}{\beta} \cdot \text{sen}(\omega t - KR) \right)^2 \right\rangle = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \text{sen}^2(\omega t - KR) dt = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \int_0^\pi \text{sen}^2(\omega t - KR) dt \\ &= \frac{1}{\pi} \left(\frac{\epsilon_L}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \frac{1}{2} \int_0^\pi 2 \text{sen}^2(\omega t - KR) dt \\ &= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\epsilon_L}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \int_0^\pi (1 - \cos(2\omega t - 2KR)) dt \\ &= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \left[t - \frac{1}{2\omega} \text{sen}(2\omega t - 2KR) \right]_0^\pi \\ &= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \left[\pi - \frac{1}{2\omega} \text{sen}(2\omega\pi - 2KR) + \frac{1}{2\omega} \text{sen}(-2KR) \right] \\ &= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \left[\pi + \frac{1}{2\omega} \text{sen } 2KR - \frac{1}{2\omega} \text{sen } 2KR \right] \\ &= \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 (\pi) = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \end{aligned}$$

$$I_{(\theta)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2 \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \quad \text{si } \theta = 0, \beta = \frac{KD}{2} \text{sen } 0 \text{ y } \beta = 0$$

$$\lim_{\beta \rightarrow 0} \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right) = 1$$

con los valores asumidos y haciendo que

$$I_{(0)} = \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_L D}{R} \right)^2$$

Esto significa que $I_{(\theta)} = I_{(0)}$

$$I_{(\theta)} = I_{(0)} \left(\frac{\text{sen } \beta}{\beta} \right)^2 \quad (\text{A.18})$$

La grafica de la ecuación (A.18) se puede ver en la figura (33), el cual muestra la irradiancia (densidad de potencia en watt/m^2).

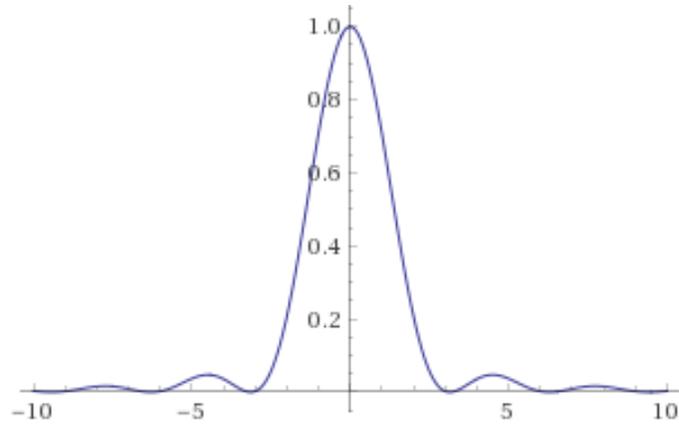


Figura 33: La irradiancia.

Apéndice B

Regresión lineal

Se hará el tratamiento de los valores obtenidos de una manera experimental para esto se usara la regresión lineal.

La tabla 2 muestra datos experimentales obtenidos de L, que es el ancho principal del espectro de difracción, y D, distancia del obstáculo a la pantalla del espectro.

Tabla 2

D	L	D ²	DL	L ²
1	0.14	1.0000	0.1400	0.0196
1.10	0.16	1.2100	0.1760	0.0256
1.20	0.17	1.4400	0.2040	0.0289
1.30	0.20	1.6900	0.2600	0.0400
$\sum D = 4.6$	$\sum L = 0.67$	$\sum D^2 = 5.3400$	$\sum DL = 0.7800$	$\sum L^2 = 0.1141$

Los coeficientes de la ecuación lineal lo hallamos haciendo uso de su regresión.

$$\alpha = \frac{(\sum L)^2(\sum D^2) - (\sum D)(\sum DL)}{N \sum D^2 - (\sum D)^2} \quad (B.1)$$

$$m = \frac{N \sum LD - (\sum D)(\sum L)}{N \sum D^2 - (\sum D)^2} \quad (B.2)$$

Reemplazando sus valores respectivos según muestra la tabla 2:

$$\alpha = \frac{(0.67)(5.34) - (4.6)(0.78)}{4(5.34) - (4.6)^2}$$

$$\alpha = -0.051 \quad (B.3)$$

$$m = \frac{4(0.78) - (4.6)(0.67)}{0.2}$$

$$m = 0.19 \quad (B.4)$$

Reemplazando (3) y (4) en la ecuación lineal (21) obtenemos que

$$L = 0.19D - 0.051 \quad (B.5)$$

Haciendo uso de la ecuación (22) obtenemos el valor de α

$$m = \frac{2\lambda}{a} \rightarrow a = \frac{2\lambda}{m}$$

$$a = 5.6 \text{ } \mu\text{m}$$

Esto muestra según nuestras mediciones tomadas experimentalmente que el tamaño de un microorganismo podría ser de este orden aun tendríamos que minimizar los márgenes de errores para las próximas mediciones.