

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



## FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD ENSENADA

TEMA:

"Identificación de la Bacteria de Tuberculosis por medio de algoritmos de reconocimiento de patrones."

Tesis que para obtener el Título de  
Ingeniero en Electrónica presenta:

**Esbanyely Garza Flores**

Director  
Dr. Josué Álvarez Borrego

Ensenada, Baja California, México, Diciembre del 2009

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

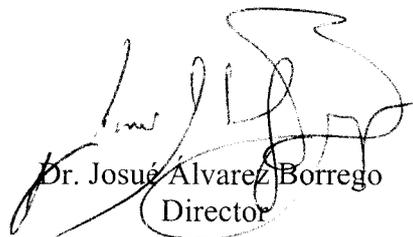
## FACULTAD DE INGENIERÍA UNIDAD ENSENADA

### “IDENTIFICACIÓN DE LA BACTERIA DE TUBERCULOSIS POR MEDIO DE ALGORITMOS DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES.”

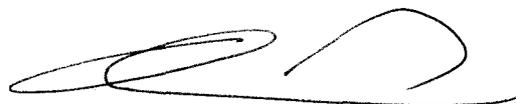
Tesis que para obtener el título de  
Ingeniero en electrónica presenta:

**ESBANYELY GARZA FLORES**

**APROBADA POR:**



Dr. Josué Álvarez Borrego  
Director



Dr. Oscar Roberto López Bonilla  
Sinodal



Dr. Enrique Efrén García Guerrero  
Sinodal

**C. ESBANYELY GARZA FLORES  
P R E S E N T E:**

Después de haber efectuado una revisión minuciosa sobre el trabajo de tesis presentado para poder presentar la defensa de su examen y obtener el título de Ingeniero en Electrónica, me permito comunicarle que he dado mi voto aprobatorio sobre el trabajo titulado:

*"Identificación de la bacteria de tuberculosis por medio de algoritmos de reconocimiento de patrones"*

Esperando reciba la presente de conformidad quedo de usted.

Ensenada, B. C. a día 18 del mes de Noviembre del 2009.

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Enrique Efrén García Guerrero". The signature is written over a rectangular box that has been crossed out with several diagonal lines.

**Dr. Enrique Efrén García Guerrero**

**C. ESBANYELY GARZA FLORES  
P R E S E N T E:**

Después de haber efectuado una revisión minuciosa sobre el trabajo de tesis presentado para poder presentar la defensa de su examen y obtener el título de Ingeniero en Electrónica, me permito comunicarle que he dado mi voto aprobatorio sobre el trabajo titulado:

*"Identificación de la bacteria de tuberculosis por medio de algoritmos de reconocimiento de patrones"*

Esperando reciba la presente de conformidad quedo de usted.

Ensenada, B. C. a día 18 del mes de Noviembre del 2009.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke at the end.

**Dr. Oscar Roberto López Bonilla**

***DEDICATORIA***

***A MIS PADRES:***

***MARÍA LUISA FLORES Y GREGORIO GARZA.***

## **Agradecimientos**

**Al Dr. Josué Álvarez Borrego por aceptar ser mi director de tesis, por su asesoría y paciencia.**

**A mis padres y hermanos: Andrés (Bebo), Alonso, Ceida, Dina, Guadalupe, Leny y Martín. Por su apoyo incondicional, sin ellos no lo hubiera logrado.**

**A la Dra. Nahara Ayala Sánchez y a Edgar Ayala por su ayuda.**

**Esta tesis fue parcialmente financiada por proyecto CONACYT No. 102007.**

**A todos gracias sinceramente.**

# ÍNDICE

SECCIÓN:	PÁGINA
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
I. ANTECEDENTES.....	1
I.1. ¿QUÉ ES TUBERCULOSIS?.....	1
I.2. BREVE HISTORIA.....	2
I.3. EPIDEMIOLOGÍA.....	4
I.3.1. ESTIMACIONES DE LA O. M. S.....	5
I.3.2. FACTORES QUE CONTRIBUYEN EL AUMENTO DE TUBERCULOSIS.....	6
I.4 IMPACTO DE LA TUBERCULOSIS.....	10
II. DETECCIÓN DE MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS.....	12
III. UTILIZACIÓN DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA LA IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE TUBERCULOSIS.....	18
III.1 HIPÓTESIS.....	18
III.2 ANTECEDENTES DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES EN LA DETECCIÓN DE TUBERCULOSIS.....	19
IV. OBJETIVOS.....	20
IV.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
IV.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....	20
V. EQUIPO Y SOFTWARE.....	21
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>22</b>
I. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	22
II. FUNDAMENTOS.....	24
II.1 IMÁGENES.....	24
II.1.1 ¿QUÉ ES UNA IMAGEN?.....	24
II.1.2 IMAGEN DIGITALES.....	25

# ÍNDICE (Continuación)

SECCIÓN:	PÁGINA
II.1.3 COLOR EN LAS IMÁGENES.....	26
II.2 TRASFORMADA DE FOURIER.....	26
II.2.1 TRANSFORMADA DE FOURIER PARA UNA FUNCIÓN UNIDIMENSIONAL.....	27
II.2.2 TRANSFORMADA DE FOURIER DE UNA IMAGEN.....	27
II.3 PROPIEDADES DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER.....	29
II.3.1 LINEALIDAD.....	29
II.3.2 TRANSLACIÓN EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.....	29
II.3. 3 TRASLACIÓN EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA.....	30
II.4 TEOREMA DE MUESTREO.....	32
II. 5 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER.....	33
II.5.1 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER PARA UNA FUNCIÓN DIGITALIZADA UNIDIMENSIONAL.....	33
II.5.2 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER DE UNA IMAGEN DIGITAL.....	34
II.6 TEOREMA DE PARSEVAL.....	35
II.7 CONVOLUCIÓN.....	35
II.8 TEOREMA DE CONVOLUCIÓN.....	36
II.9 CORRELACIÓN.....	37
II.10 TEOREMA DE CORRELACIÓN.....	40
III. MÉTODOS.....	42
III.1 MÉTODO DE CORRELACIÓN CLÁSICA.....	43
III. 2 MÉTODO DE CORRELACIÓN SOLO DE FASE.....	48
III.3 MÉTODO DE CORRELACIÓN DE FASE EXTREMA.....	52
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>57</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>79</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>81</b>

## LISTA DE FIGURAS:

FIGURA	PAGINA
1. Radiografía de Tórax.....	1
2. Inyección de PPD.....	14
3. Reacción cutánea.....	14
4. Calentamiento de la muestra.....	16
5. Imagen del bacilo <i>Mycobacterium Tuberculosis</i> teñido con auramina.....	17
6. Descomposición de la información de color en los tres canales primarios.....	42
7. Imagen problema 1 separada en canales verde A) y Rojo B).....	57
8. Resultados de Correlación clásica.....	58
9. Resultado de Correlación solo de fase.....	59
10. Resultados de Correlación de fase extrema.....	60
11. Gráficas para cada método de correlación de la multiplicación de los resultados en los dos canales verde y rojo.....	61

## LISTA DE FIGURAS (Continuación):

<i>FIGURA</i>	<i>PAGINA</i>
12. Imagen problema 2 separada en canales verde A) y Rojo B).....	62
13. Resultados de Correlación clásica.....	63
14. Resultados de Correlación solo de fase.....	64
15. Resultados de Correlación de fase extrema.....	65
16. Gráficas para cada método de correlación de la multiplicación e los resultados en los dos canales verde y rojo.....	66
17. Imagen problema 3 separada en canales verde A) y Rojo B).....	68
18. Resultados de Correlación clásica.....	69
19. Resultados de Correlación solo de fase.....	70
20. Resultados de Correlación de fase extrema.....	71
21. Gráficas para cada método de correlación de la multiplicación e los resultados en los dos canales verde y rojo.....	72

## LISTA DE FIGURAS (Continuación):

FIGURA	PAGINA
22. Imagen problema 4 separada en canales verde A) y Rojo B).....	73
23. Resultados de Correlación clásica.....	74
24. Resultados de Correlación solo de fase.....	75
25. Resultados de Correlación de fase extrema.....	76
26. Gráficas para cada método de correlación de la multiplicación e los resultados en los dos canales verde y rojo.....	77

## **CAPITULO 1.**

### **"INTRODUCCIÓN"**

#### **I. == ANTECEDENTES ==:**

##### **I.1 ¿QUÉ ES TUBERCULOSIS?**

**Tuberculosis:** Es una enfermedad infecciosa aguda o crónica producida por el bacilo *Mycobacterium tuberculosis*, que puede afectar a cualquier tejido del organismo pero que suele localizarse en los pulmones. El nombre de tuberculosis deriva de la formación de unas estructuras celulares características denominadas tuberculomas, donde los bacilos quedan encerrados. La transmisión de esta enfermedad es aérea.



En esta radiografía (Fig.1) se observa la calcificación del tejido del pulmón, consecuencia de una tuberculosis pulmonar, aparece como manchas amarillas en la zona torácica. Cuando se inhala el bacilo *Mycobacterium tuberculosis* procedente de un esputo (flema expectorada) contaminado, se forman en los pulmones unas lesiones nodulares denominadas tubérculos que se propagan hacia los ganglios linfáticos más cercanos.

**Figure 1. Radiografía de tórax.**

El bacilo *Mycobacterium tuberculosis* da origen a la Tuberculosis Pulmonar, sin embargo, es capaz de infectar otros órganos o tejidos tales como cerebro, riñones, hueso y piel.

Esta bacteria es la causa de aproximadamente 9 millones de casos de tuberculosis a nivel mundial y mata más personas jóvenes y adultas en el mundo que cualquier otra enfermedad infecciosa, aproximadamente 3 millones anualmente. (O.M.S. [http://www.who.int/tb/publications/global\\_report/2009/key\\_points/en/index.html](http://www.who.int/tb/publications/global_report/2009/key_points/en/index.html))

Estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (O. M. S.), han mostrado que el consumo de cigarrillo es un riesgo para la tuberculosis pulmonar en personas jóvenes, así mismo estos estudios han mostrado también un incremento de la enfermedad debido a diversos factores como la resistencia a antibióticos y el aumento en la incidencia de la infección del VIH (SIDA). Es una enfermedad tratable y la clave para su control es una rápida identificación de las personas infectadas.

## **I.2.- BREVE HISTORIA:**

La tuberculosis tiene una estrecha relación con la Historia de la propia humanidad. Existen evidencias de tuberculosis vertebral en restos neolíticos precolombinos, así como en momias egipcias que datan aproximadamente del año 2400 a. C. (O. M. S. <http://www.emro.who.int/stb/Facts-TBHistory.htm>)

En Europa se convirtió en un problema grave cuando el hacinamiento en los medios urbanos asociado con la Revolución Industrial generó circunstancias epidemiológicas las cuales favorecieron su propagación.

En los siglos XVII y XVIII la tuberculosis fue responsable de una cuarta parte de todas las muertes en adultos que se produjeron en el continente europeo.

El médico inglés *Benjamín Marten* en su obra "*A New Theory of The Consumption*" fue el primero en aventurar que la causa de la Tuberculosis podría ser una "diminuta criatura viviente", que, una vez en el organismo, podría generar los signos y síntomas de la enfermedad.

Fue *Robert Koch*, en 1882, al utilizar una nueva técnica de tinción, pudo ver por primera vez al "enemigo oculto". En el año 1885 *Wilhem Conrad von Röntgen* descubre la radiación que lleva su nombre o llamados también Rayos X, con lo que la evolución de la enfermedad podía ser observada.

Con el conocimiento del agente causante y el mecanismo de transmisión prolifero la aparición de los famosos sanatorios, con los que se buscaba, por un lado, aislar a los enfermos de la población general interrumpiendo la cadena de transmisión de la enfermedad, y por otro, ayudar al proceso de curación con la buena alimentación y el reposo.

Pero fue hasta 1944, en plena II Guerra Mundial, con la demostración de la eficacia de la estreptomina, cuando comienza la era moderna de la Tuberculosis, en la que el curso de la enfermedad podía ser cambiado.

En el año 1952 tiene lugar el desarrollo de un agente mucho más eficaz, la isoniacida. Ello hace que la Tuberculosis se convierta en una enfermedad curable en la mayoría de los casos. La rifampicina, en la década de los 60, hizo que los regímenes terapéuticos se acortaran de forma significativa, produciendo de esta forma un descenso progresivo de los casos.(O. M. S. <http://www.emro.who.int/stb/Facts-TBHistory.htm>)

A partir de mediados de los 80, en los que la irrupción del SIDA, la formación de bolsas de pobreza y situaciones de hacinamiento, el impacto en los adictos a drogas por vía parenteral, junto con la escasez de recursos sanitarios, han hecho de la Tuberculosis un problema creciente, con la adquisición y propagación epidémica de nuevos casos.

Todo ello ha llevado a una adherencia deficiente de los enfermos a los tratamientos, permitiendo así la aparición y diseminación de cepas resistentes a los medicamentos.

### **I.3.- EPIDEMIOLOGÍA.**

En 1993, la Organización Mundial de la Salud (O. M. S.) tomo un paso sin precedente y declaro la Tuberculosis como una emergencia global.

La Tuberculosis es una enfermedad contagiosa. Como la gripe común, se dispersa a través del aire. Solo las personas que se encuentran enfermas con tuberculosis pulmonar son infecciosas. Cuando una persona infecciosa tose, estornuda, habla o escupe, propagan gérmenes de Tuberculosis, conocidos como bacilos, hacia el aire. Una persona necesita solo inhalar una cantidad pequeña de estos gérmenes para ser infectada.

Sin tratamiento, cada persona con Tuberculosis activa infectara un promedio entre 10 y 15 personas cada año.

Pero las personas infectadas con Tuberculosis no necesariamente enfermaran. El sistema inmunológico encierra el bacilo de Tuberculosis el cual, protegido con una capa grasa, puede permanecer en letargo por años. Cuando el sistema inmunológico de una persona es debilitado, las probabilidades de enfermarse son mayores, como en el caso de los enfermos de SIDA.

- Cada segundo una persona es infectada por tuberculosis en el mundo.
- Casi un por ciento de la población mundial se infecta con tuberculosis cada año.

#### ***I.3.1.- ESTIMACIONES DE LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD.***

Los últimos datos facilitados por la O. M. S., son impresionantes, se estima que la prevalencia de la infección en el mundo era del 32% de la población (1,860 millones de personas), con una mortalidad global del 23%, aunque sobrepasaba el 50% en algunos países africanos donde la coinfección por VIH es muy alta.

Es estimado que entre 2000 y 2020, cerca de un billón de personas serán infectadas, 200 millones de personas enfermaran, y 35 millones morirán de Tuberculosis. Aproximadamente un tercio de la población esta infectada por M. Tuberculosis. Mundialmente se dan 9 millones de casos de Tuberculosis anualmente así como 3 millones de muertes anuales.

Las defunciones por Tuberculosis representan el 25% de toda la mortalidad evitable en los países en desarrollo, donde se registra el 95% de los casos y el 98% de los fallecimientos causados por esta enfermedad; el 75% de los casos se sitúa en el grupo de edad económicamente productiva (15-50 años).

### ***I.3.2-FACTORES QUE CONTRIBUYEN EL AUMENTO DE TUBERCULOSIS:***

#### *1.- VIH acelera la dispersión de la Tuberculosis (TB).*

De acuerdo con la O. M. S. el VIH y TB forman una combinación letal, cada una acelerando el progreso de la otra. VIH debilita el sistema inmunológico. Alguien que es VIH-positivo e infectado con TB es muchas veces más susceptible de enfermar de TB que alguien que es VIH-negativo. Tuberculosis es la causa líder en muertes entre personas que son VIH-positivas. Tiene a cuenta alrededor de 15% de muertes de SIDA alrededor del mundo. En África el VIH es el factor individual más importante en el incremento de incidencia de TB en los últimos 10 años.

#### *2.- Programas de tratamiento pobremente Manejados hacen la Tuberculosis incurable.*

Hasta hace 50 años, no existían fármacos para curar la Tuberculosis. Ahora, cepas que son resistentes a fármacos específicos han sido documentadas en cada país estudiado y, lo que es mas, han surgido cepas de Tuberculosis resistentes a la mayoría de los fármacos anti-Tuberculosis.

La O. M. S. indica que la resistencia de estas nuevas cepas es causada por un tratamiento inconsistente o parcial:

- Cuando los pacientes no toman todas sus medicinas regularmente por el tiempo requerido dado que empiezan a sentirse mejor.
- Doctores y trabajadores de salud prescriben un régimen de tratamiento erróneo.
- También si el medicamento no puede ser suministrado adecuadamente por falta de abastecimiento o por costo.

Desde la perspectiva de salud pública, un tratamiento pobremente supervisado o incompleto es peor que ningún tratamiento. Cuando las personas fallan en completar el régimen normal de tratamiento, o se les asigna el régimen de tratamiento incorrecto, pueden permanecer infecciosos.

El bacilo de esta manera adquirirá resistencia al medicamento que se este utilizando. Las personas a las que infecte tendrán la misma cepa de tuberculosis resistente al mismo medicamento. Aunque las cepas de Tuberculosis resistentes a fármacos son tratables, requiere extensiva quimioterapia (hasta 2 años de tratamiento) esto es frecuentemente caro (a menudo mas de 100 veces mas caro que el tratamiento de tuberculosis susceptible a fármacos), y también mas tóxico para los pacientes.

### *3.- Hacinamiento de población e Emigración.*

Algunos grupos son más vulnerables a desarrollar y morir enfermos de tuberculosis. A menudo son personas que se encuentran con alguna desventaja de alguna manera, lo que los hace menos hábiles arreglárselas con las consecuencias de contraer tuberculosis, al mismo tiempo es mas viable que desarrollen la enfermedad.

La cantidad de refugiados y personas desplazadas en el mundo también se esta incrementando. La tuberculosis sin tratamiento se dispersa rápidamente en campos de refugiados abarrotados. Es difícil el tratar poblaciones movibles, dado que el tratamiento toma por lo menos 6 meses. La Organización Mundial de la Salud afirma que el 50% de los refugiados mundiales pueden estar infectados con TB. Mientras se mueven, pueden dispersar la Tuberculosis.

A continuación se mencionan los grupos de mayor riesgo de acuerdo con estudios de la Organización Mundial de la Salud.

#### **A. Pobreza Urbana:**

- Muchas personas son forzadas a vivir en condiciones de sobre población, lo que aumenta el riesgo de transmisión.
- En Manila, se encontró que la prevalencia de TB entre los pobres de la ciudad era de 1.5 mayor que la población no-pobre analizada.

- La prevalencia de tuberculosis en Chiapas México, el cual es un estado con un número alto de población pobre, se encontró que era el doble que la media nacional.

#### **B. Emigrantes:**

- Frecuentemente llegan a un nuevo país y subsecuentemente desarrollan la enfermedad dado una dieta y condiciones de vida pobres.
- Acceso limitado a los servicios de salud en su país adoptivo puede impedir que los emigrantes obtengan diagnóstico y tratamiento a tiempo.
- Emigrantes (25 años a 39 años) en París tienen un promedio 12 veces mayor de enfermar de tuberculosis que los demás nacionalizados Franceses de la misma edad.

#### **C. Prisioneros:**

- Los prisioneros están en alto riesgo de contraer la Tuberculosis dado la sobre población e inadecuada dieta a menudo encontrada en los sistemas de prisión.
- Un sistema de prisión es un escenario pobre que no está equipado para manejar un número alto de pacientes; por lo tanto no existe acceso al diagnóstico y el resultado es un tratamiento pobre.
- Surgimiento de cepas de tuberculosis resistentes a fármacos han surgido en prisiones de la ex-U.R.S.S. en los años 90's, con el peligro de que estas peligrosas cepas se dispersaran a la comunidad por familiares, personal de la prisión y prisioneros liberados.

#### **D. Personas viviendo con VIH/SIDA**

Como se mencionó anteriormente el VIH es un detonante para el resurgimiento del bacilo de Tuberculosis. Una de cada tres personas infectadas con VIH desarrollará Tuberculosis en su vida. Personas con VIH tienen un 10% mas de probabilidad de desarrollar tuberculosis activa si no es tratado a tiempo.

#### **I.4 IMPACTO DE LA TUBERCULOSIS:**

##### *¿CUAL ES LA RELACIÓN ENTRE TUBERCULOSIS Y LA POBREZA?*

#### **El Banco mundial estima que:**

- Existen al menos 1.2 billones de personas viviendo con menos de \$1US por día.

Un estudio conducido por el World Bank, titulado "Voces de los Pobres", destacó la naturaleza multi-dimensional de la pobreza.

#### **La Organización Mundial de la Salud estima que:**

- Globalmente, los países de un ingreso mediano-bajo (ingreso per capital anual menor que \$2995 US) cuentan con más del 90% de los casos de tuberculosis y muertes. 76% de la población mundial vive en estos países.
- Los países de ingreso bajo (ingreso per capital anual menor que \$755 US) cuentan con 65% de los casos de tuberculosis y 71% de las muertes. 42% de la población mundial vive en estos países.

### **El ciclo de la Tuberculosis y la pobreza:**

Una relación simbiótica existe entre tuberculosis y la pobreza. Las nuevas infecciones de tuberculosis no son solo producto de la pobreza sino también producen pobreza. Es necesario el combatir la tuberculosis y la pobreza juntas para acelerar el crecimiento económico y social y por consecuencia reducir el brote global de tuberculosis.

### **La pobreza aviva la Tuberculosis:**

La tuberculosis es una enfermedad de pobreza. Es ampliamente reconocido que entre más pobre sea una comunidad, más grande es la posibilidad de ser infectado con la bacteria de tuberculosis y desarrollar la enfermedad.

La carencia de los servicios básicos de salud, pobre nutrición e inadecuadas condiciones de vida son las razones que contribuyen a la propagación de tuberculosis y su impacto en la comunidad.

La mala nutrición y dietas inadecuadas debilitan el sistema inmunológico e incrementan el cambio de ser una persona infectada a desarrollar una tuberculosis activa.

Todos los factores anteriormente mencionados revelan la necesidad de tener métodos de detección que sean eficientes y económicamente más accesibles para combatir esta enfermedad sobre todo en países pobres.

## II. =DETECCIÓN DE MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS=

Para obtener una evaluación completa de tuberculosis y hacer un diagnóstico de la enfermedad, se debe hacer un historial médico, exámenes físicos, radiografías de tórax, prueba de la tuberculina y principalmente la realización de pruebas de laboratorio para la detección de la bacteria.

### **HISTORIAL MÉDICO:**

El historial médico incluye detectar los síntomas de tuberculosis Pulmonar:

- Tos prolongada por más de 3 semanas.
- Dolor en el pecho y Hemoptisis (expectoración de flema con sangre).
- Así como síntomas comunes a otras enfermedades como lo son la fiebre, el cansancio, la falta de apetito, pérdida de peso y sudor nocturno.

Todos los síntomas anteriores nos muestran claramente un problema respiratorio. Otras partes del historial médico incluye la exposición anterior que haya tenido el paciente a la tuberculosis, infección o enfermedad; tratamientos anteriores de tuberculosis; factores demográficos de riesgo y condiciones médicas que aumentan el riesgo de enfermar de tuberculosis como por ejemplo la infección de VIH.

Las consideraciones anteriores nos pueden llevar a sospechar si un paciente puede tener tuberculosis pero el historial médico no es un factor concluyente para asegurar un diagnóstico positivo de la enfermedad.

#### **EXAMEN FÍSICO:**

Para determinar el estado de salud general del paciente y encontrar otros factores que puedan afectar el plan de tratamiento de tuberculosis, un examen físico es llevado a cabo, pero no se puede utilizar para confirmar o descartar tuberculosis.

#### **RADIOGRAFÍA DE TÓRAX:**

Una radiografía de Tórax nos puede mostrar cualquier anomalía en los pulmones y utilizarse para la búsqueda en el pulmón de las lesiones nodulares características de una tuberculosis Pulmonar. En personas con VIH o con sistema inmunológico débil cualquier anomalía en la radiografía puede indicar tuberculosis e inclusive la radiografía de tórax puede llegar a mostrarse normal, además, el bacilo de tuberculosis, es capaz de infectar a otros órganos, no solo a los pulmones.

Por lo tanto, las anomalías en las radiografías de tórax pueden sugerir, pero nunca diagnosticar tuberculosis. Sin embargo puede utilizarse la radiografía de tórax para descartar la posibilidad de tuberculosis Pulmonar en una persona que tuvieron una reacción positiva a la prueba de tuberculina en la piel y que no han mostrado síntomas.

### **PRUEBA DE LA TUBERCULINA, TEST DE MANTOUX O PPD.**

Fue descrita primeramente por Robert Koch en 1891. En 1906 el pediatra Austriaco Clemens von Pirquet, notó que los pacientes que previamente habían recibido inyecciones de vacuna contra Viruela, tenían reacciones más rápidas y más severas a una segunda inyección, esto lo llevó a concluir que el bacilo de tuberculosis podría llevar a una reacción similar. La prueba lleva el nombre de Test de Mantoux, en honor de Charles Mantoux, un médico francés, que basándose en los trabajos de Robert Koch y Clemens von Pirquet desarrolló su prueba en 1907. Es llamada PPD de las siglas en inglés de Purified Protein Derivative (Derivado Protéico Purificado).

La tuberculina es un *antígeno* del bacilo *Mycobacterium tuberculosis*. El test de Mantoux consiste en inyectar un derivado proteico purificado de tuberculina a un organismo para comprobar si se ha producido un contacto previo con el bacilo *Mycobacterium tuberculosis* observando la reacción que tiene el organismo.

El procedimiento es inyectar 0.1 ml de derivado purificado de Tuberculina al paciente como se observa en la figura 2.



**Figure 2. Inyección de PPD.**



**Figure 3. Reacción cutánea**

Posteriormente se observa la reacción viendo la induración (área de piel endurecida y palpable) después de entre 48 y 72 horas, cuando la reacción que se produce es mayor a 5 mm de diámetro se considera como resultado positivo, figura 3.

Esto significa que la persona a tenido contacto previo con el bacilo y que se encuentra en su organismo.

Sin embargo los resultados de esta prueba no son confiables al 100%. Esta prueba puede dar falsos positivos, ya que la reacción en la piel puede darse debido a diferentes factores como por ejemplo, a infecciones de mycobacterias no tuberculosas o por vacunación previa con la vacuna BCG (vacuna de tuberculosis) o una simple alergia.

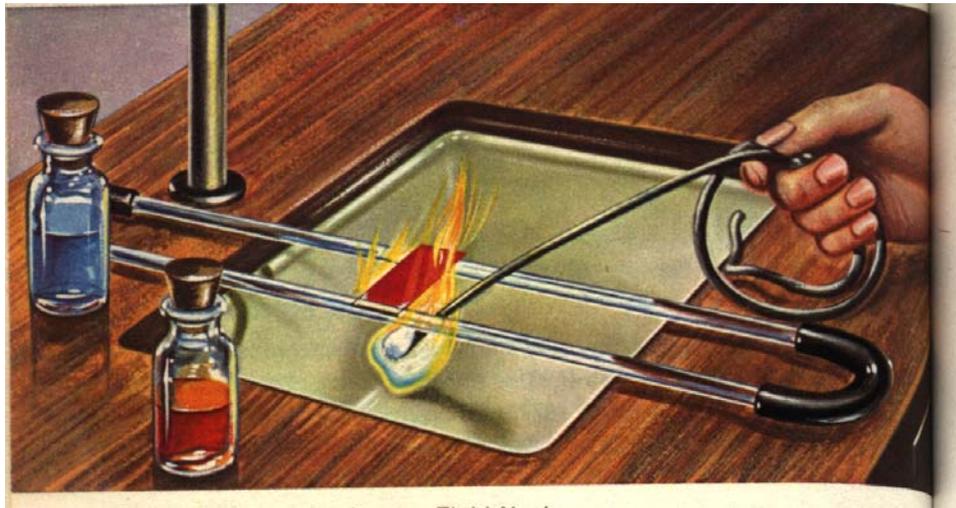
#### **PRUEBAS DE LABORATORIO:**

Para la detección del bacilo de tuberculosis se efectúa un análisis de frotis de esputo (flema expectorada) por medio de la observación microscópica. Para ello se realiza una tinción de los frotis de las muestras de esputo, esta tinción es necesaria debido a que las partículas son transparentes y por lo tanto se requiere hacerlas visibles.

La Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) sugiere dos métodos de tinción para su diagnóstico, **Teñido Ziehl-Neelsen** y **Teñido con Auramina**.

### **Teñido Ziehl-Neelsen:**

En este método, se emplea como colorante fucsina fenicada calentada para teñir la muestra, figura 4. Después la muestra es decolorada con ácido y alcohol. La bacteria *Mycobacterium tuberculosis* debido quizás a estar contenido en una capa elevada de grasa, resisten sin decolorarse el tratamiento ácido-alcohol, manteniendo así el teñido.



**Figure 4 Calentamiento de la muestra.**

### **Teñido con Auramina:**

Auramina es un colorante amarillento, lo que provoca una visualización mas adecuada del bacilo, el cual al tener paredes grasas es capas de retener el colorante, figura 5.



**Figura 5. Imagen del bacilo  
*Mycobacterium Tuberculosis*  
teñido con auramina.**

Estos dos métodos requieren de un intensivo trabajo por parte de los microbiólogos, así mismo estos métodos tienen alto grado de falsos negativos obteniéndose así una baja sensibilidad, además los médicos deben esperar hasta 2 meses para obtener los resultados. Esto debido a que el diagnóstico está basado en la simple observación del microorganismo y su análisis taxonómico de él.

Después de ver las diferentes maneras actuales de diagnosticar el bacilo de tuberculosis, se hace claro la necesidad de desarrollar métodos más eficientes para su detección.

### III. == UTILIZACIÓN DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA LA IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE TUBERCULOSIS. ==

Para atacar adecuadamente la tuberculosis, enfermedad que se a convertido en una epidemia, es necesaria una pronta detección para un tratamiento más eficaz de la enfermedad y así disminuir la propagación entre la población. Para ello, en este trabajo se incorpora el Procesamiento Digital de Imágenes, con el fin de hacer un análisis computacional de imágenes de frotis de esputo y de esta forma realizar una detección automática del bacilo *Mycobacterium tuberculosis*.

#### III.1 HIPÓTESIS

Si un organismo biológico puede ser identificado por el hombre mediante la observación microscópica de su estructura de valor taxonómico, es posible realizar un procesado digital de la imagen que involucre su morfología para que por medio de un análisis computacional se pueda hacer una identificación del organismo con mayor rapidez.

El análisis computacional de imágenes digitales de las muestras de esputo dará las siguientes ventajas:

- REDUCCIÓN DE CAPACITACIÓN TAXONÓMICA PARA EL PERSONAL DE LABORATORIO: Ya que solo se tendrá que tratar con una computadora que contenga el algoritmo.
- MAYOR EXACTITUD EN EL DIAGNOSTICO: La identificación automática eliminará el posible error humano que existe al hacer el análisis visualmente, esto provocará una disminución del intervalo de falsos negativos.

- INCREMENTO EN EL NÚMERO DE FROTIS ANALIZADOS: La automatización obtenida al realizar una identificación computacional, permitirá el análisis de un mayor número de imágenes dado que el uso de la computadora reduce el tiempo de identificación; por lo tanto más personas con tuberculosis pueden ser detectadas y atendidas.

No existe aún en México o en alguna parte del mundo una metodología accesible a los Centros de Salud para resolver de forma rápida, efectiva y económica el problema de la identificación de la bacteria de tuberculosis. Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes se pretende resolver este problema.

### **III.2 ANTECEDENTES DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES EN LA DETECCIÓN DE TUBERCULOSIS:**

Algunas investigaciones se han llevado a cabo para el desarrollo de técnicas de identificación automática de la bacteria de tuberculosis.

Konstantinos Veropoulos<sup>22</sup> usó un método de identificación basado en descriptores de forma y redes neuronales, las cuales necesitan un periodo de entrenamiento. Este método mostró una sensibilidad (la razón de resultados positivos entre el número total de positivos verdaderos) de 94.1%.

M. H. F. Wilkinson<sup>23</sup> ha propuesto una técnica basada en calcular diferentes umbrales para diferentes áreas de niveles de gris. En este método no se considera la información de la imagen a color.

Otro método es el de segmentación de objetos mediante Reglas Velludas (Fuzzy Rules). Aquí se utiliza el histograma de la imagen para la segmentación usando técnicas de umbrales. En este método se construyen las reglas a partir de la información de color de la imagen.

#### **IV. ==OBJETIVOS==**

##### **IV.1 OBJETIVO GENERAL**

Utilización de Procesamiento Digital de Imágenes para el reconocimiento automático de la bacteria de tuberculosis en muestras de esputo por medio de un análisis computacional implementando correlación.

##### **IV.2 OBJETIVOS PARTICULARES:**

a) Presentar tres diferentes técnicas de correlación, para la identificación de la bacteria de la tuberculosis en imágenes digitales de muestras de esputo, estas técnicas son:

- Correlación Clásica.
- Correlación Solo de Fase.
- Correlación de Fase extrema

b) Valoración de las técnicas.

## V. EQUIPO Y SOFTWARE

### **E** EQUIPO:

#### ➤ SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES ZEISS AXIPHOT EL CUAL CONSTA DE:

- Microscopio AXIOPLAN 2 IMAGING MOT, completamente motorizado y preparado para su posterior escalamiento a un sistema focal. El sistema esta equipado para las técnicas de Diferencial de interferencias, Epifluorecencia con sistema exclusivo de regulación de voltaje.
- Cámara digital AXIOCAM con CCD integrado de alta resolución para microscopia.
- Sistema automatizado de adquisición y almacenamiento de imágenes AXIOVISION 3.0 software.

#### ➤ COMPUTADORA PERSONAL:

- Microprocesador HP Pavilion 750c desktop PC 400 MHZ.
- Tarjeta de Vídeo tipo MG4 graphics card con memoria incluida de 32 MB SDRAM AGP marca nVidia TNT2™.
- Sistema Operativo Windows XP Home Operating System.

### **E** SOFTWARE:

- MATLAB 5.3
- AXIOVISION 3.0
- ADOBE PHOTOSHOP 6.0
- Scion Image Beta 4.02

## CAPITULO 2.

### "METODOLOGIA"

#### I. DESCRIPCION GENERAL:

Se obtuvieron mediante microscopio, 94 imágenes digitales de frotis de esputo teñidas con Auramina (256X256), las cuales fueron nuestras *imágenes problema* para ser analizadas realizando una simulación numérica mediante correlación clásica, correlación solo de fase y correlación de fase extrema con un banco de 100 *imágenes filtro* conformadas por imágenes del bacilo *Mycobacterium tuberculosis*. Todas estas correlaciones fueron hechas tomando en cuenta la información de color de las imágenes.

La bacteria de *Mycobacterium tuberculosis* mide 0.8 a 1 $\mu$ m en longitud y 0.2 a 0.6 $\mu$ m en anchura mostrando una forma delgada y ligeramente curvada. Debido a esto se utilizó la correlación con un banco de imágenes, con el cual pudimos tomar en cuenta diferentes morfologías del bacilo, así como orientación y tamaño. Sin embargo la forma de la bacteria no es factor discriminante, así que se hace necesario tomar en cuenta también la información de color.

La razón para tomar en cuenta la información a color, es debido a que en general para objetos policromáticos la información de color depende de la longitud de onda de la iluminación, por consecuencia, objetos con una distribución espacial de color diferente pueden parecer similares bajo una iluminación a cierta longitud de onda  $\lambda_0$  (Millan et al., 1989,1992).

Lo anterior implica que al iluminar dos objetos diferentes con una longitud de onda  $\lambda_0$ , estos objetos darán una distribución espacial de color similares, por lo tanto obtendríamos falsas alarmas al realizar la correlación (falso positivo en la detección).

Para evitar este problema de falsos positivo en nuestros resultados, el reconocimiento de un objeto en una imagen se logra descomponiendo la información de color en tres canales monocromáticos (rojo, verde y azul) y realizar la identificación del objeto independiente en cada canal. Esto es que la correlación  $C(x,y)_\lambda$  entre una imagen problema  $f(x,y)_\lambda$  y la imagen filtro de la bacteria a ser detectada  $b(x,y)_\lambda$ , es obtenida para la longitud de onda de cada canal  $\lambda = R, V, A$ , cubriendo así todo el espectro visible.

$$C(x, y)_\lambda = f(x, y)_\lambda \otimes b(x, y)_\lambda$$

Cuando una imagen  $f(x,y)_\lambda$  tenga un componente similar a  $b(x,y)_\lambda$ , para un canal  $\lambda$ , obtendremos un máximo de correlación (*pico de correlación*) para dicho canal  $\lambda$ . Pero solamente la imagen filtro  $b(x,y)_\lambda$  nos dará simultáneamente un máximo de correlación en cada uno de los canales. Esto significa que obtendremos un resultado positivo en el reconocimiento de una imagen solo cuando obtengamos un pico de correlación en los tres canales.

Las imágenes obtenidas mediante el teñido con auramina nos produce imágenes que muestran el bacilo *Mycobacterium tuberculosis* con un color amarillento, como se mostró en la figura 5.

## II. FUNDAMENTOS:

### II.1 IMÁGENES

#### II.1.1 ¿Qué es una imagen?

Una **imagen** es una descripción de como un parámetro varia sobre una superficie. Esto significa que una imagen es una función bidimensional continua  $I = f(x,y)$ . Por lo tanto, las imágenes convencionales captadas por el ojo humano son el resultado de variaciones de intensidad de la luz a través de un plano bidimensional.

Además de la luz se pueden utilizar diferentes parámetros invisibles para que el ojo humano pueda formar una imagen, por ejemplo, una imagen puede ser formada por la emisión de rayos-x desde una galaxia, por temperatura, etc. Estas imágenes son convertidas a imágenes convencionales para que puedan ser detectadas por el ojo humano. Esto es posible, debido a que todo cuerpo puede emitir o recibir radiación electromagnética hacia o desde su medio ambiente, así pues, la radiación emitida por cualquier escena ya sea un objeto o fenómeno físico puede ser captada y realizar un duplicado de la escena en función de la variación de la radiación electromagnética, convirtiéndola en imagen visible.

### II.1.2 IMAGEN DIGITALES

Una imagen física generada por una cámara fotográfica, un radar, etc., puede ser representada por una función continua. Esta representación no es la forma en la que se puede representar una imagen en una computadora digital, por lo que se hace necesario convertir la imagen continua a su forma digital (imagen digital). El proceso para la digitalización de la imagen, consiste en muestrear la imagen para producir un arreglo de  $M \times N$  muestras y cuantizar (dividir) sus valores de intensidad en  $K$  niveles. Cada una de las muestras es llamada píxel.

Los  $K$  niveles de cuantización, nos dará el valor para cada píxel, el cual es usualmente un número entre 0 y 255. Por lo tanto, para que la imagen sea visible, el valor de cada píxel es convertido a una *escala de gris*, donde 0 es negro y 255 blanco (256 niveles de gris), y los valores intermedios son matices de gris. Estos 256 niveles de gris son llamados niveles de cuantización.

Comúnmente se utilizan 256 niveles de gris (niveles de cuantización) en el procesado de imágenes, lo cual corresponde a un solo byte por píxel. La razón para ello es por conveniencia en el manejo de los datos, debido a que esta es la forma en que usualmente las computadoras almacenan los datos.

### **II.1.3 COLOR EN LAS IMÁGENES**

El color en las imágenes se obtiene al utilizar 3 números para cada píxel, representando la intensidad de la luz en cada uno de los tres colores primarios: rojo, verde y azul. El mezclado de estos 3 colores da como resultado todos los posibles colores que el ojo humano puede detectar. Frecuentemente se utiliza 1 byte (1byte = 256 niveles) para almacenar cada una de las intensidades de color, permitiendo así 256 niveles de color en cada uno de los 3 colores primarios, esto da un total de  $256 \times 256 \times 256 = 16.8$  millones de colores diferentes.

### **II.2 TRASFORMADA DE FOURIER:**

El Análisis de Fourier es una familia de técnicas matemáticas, basadas en la descomposición de una señal en senoidales. Es común que señales naturales, así como las creadas por el hombre estén conformadas por senoidales, muchas cosas oscilan en nuestro entorno. Por lo tanto en una señal que deseamos analizar mas que su comportamiento en el dominio del tiempo, la información clave de dicha señal se encuentra en la frecuencia, fase y amplitud de las senoidales que la componen.

La transformada de Fourier es una de las técnicas del Análisis de Fourier utilizada para extraer esta información, permitiéndonos calcular la contribución de cada valor de frecuencia a la formación de una señal.

### II.2.1 TRANSFORMADA DE FOURIER PARA UNA FUNCIÓN UNIDIMENSIONAL

La definición de la Transformada de Fourier para una señal continua unidimensional esta dada por:

$$F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-j2\pi ux} dx \quad (1)$$

También dada la función  $F(u)$  podemos a partir de ella calcular la función  $f(x)$ , es decir que esta transformación tiene inversa, definida por:

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u) e^{j2\pi ux} du \quad (2)$$

### II.2.2 TRANSFORMADA DE FOURIER DE UNA IMAGEN

Una imagen es una función en dos dimensiones, y puede ser expresada como  $f(x, y)$ , donde  $(x, y)$  son las coordenadas espaciales (una superficie) y  $f$  es la amplitud en cualquier par de coordenadas  $(x, y)$ , denominada *intensidad* de la imagen.

La transformada de Fourier bidimensional de una imagen  $f(x, y)$  se define por:

$$F(u, v) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-j2\pi(xu+yv)} dx dy \quad (3)$$

La transformada inversa de Fourier bidimensional se define:

$$f(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u, v) e^{j2\pi(xu+yv)} du dv \quad (4)$$

Se observa que los componentes de la transformada de Fourier son cantidades complejas, esto significa que esta conformada por una parte real  $R(u, v)$  y una parte imaginaria  $I(u, v)$ , por lo tanto al igual que cualquier otro número complejo la transformada de Fourier puede ser expresada en coordenadas polares:

$$F(u, v) = |F(u, v)| e^{j\phi(u, v)} \quad (5)$$

donde:

$$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)}$$

es la *magnitud* o *espectro de amplitud* de la transformada de Fourier

y

$$\phi(u, v) = \tan^{-1} \left[ \frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right]$$

es el *ángulo de fase* o *espectro de fase* de la transformada de Fourier.

También es importante la *densidad espectral* o *espectro de energía* de una señal, el cual se obtiene mediante el cuadrado del espectro de amplitud de la transformada de Fourier:

$$E(u, v) = |F(u, v)|^2 \quad (6)$$

### II.3 PROPIEDADES DE LA TRANSFORMADA DE FOURIER:

Desde el punto de vista del procesamiento de imágenes, las siguientes propiedades son importantes:

#### II.3.1 Linealidad:

La Transformada de Fourier (TF) es lineal, esto es, para dos constantes a y b se tiene:

$$TF\{af_1(x, y) + bf_2(x, y)\} = aF_1(u, v) + bF_2(u, v) \quad (7)$$

#### II.3.2 Translación en el dominio del tiempo.

Si  $TF\{f(x, y)\} = F(u, v)$  y  $(x_0, y_0)$  son constantes reales, se tiene que:

$$TF\{f(x - x_0, y - y_0)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x - x_0, y - y_0) e^{-j2\pi(ux + vy)} dx dy \quad (8)$$

Si sustituimos  $s = x - x_0$  y  $p = y - y_0$ , de la substitución se tiene también que  $dx = ds$  y  $dy = dp$ , esto hace que la transformada de Fourier, como:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x - x_0, y - y_0) e^{-j2\pi(ux + vy)} dx dy &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(s, p) e^{-j2\pi[u(s+x_0) + v(p+y_0)]} ds dp \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(s, p) e^{-j2\pi(ux_0 + vy_0)} e^{-j2\pi(us + vp)} ds dp \\ &= e^{-j2\pi(ux_0 + vy_0)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(s, p) e^{-j2\pi(us + vp)} ds dp \end{aligned}$$

Esto significa que para una función con un desplazamiento en el tiempo se tendrá:

$$TF\{f(x - x_0, y - y_0)\} = F(u, v) e^{-j2\pi(ux_0 + vy_0)} \quad (9)$$

Esto nos indica que la transformada de Fourier de una función desplazada en el espacio es la misma transformada de Fourier de la función original multiplicada por un factor exponencial con una fase, o sea se cambia el ángulo de fase del espectro.

### II.3. 3 Traslación en el dominio de la frecuencia:

De igual forma, si  $F(u, v)$  es desplazada por las constantes  $(u_0, v_0)$  la transformada inversa de Fourier se expresa:

$$TIF\{F(u-u_0, v-v_0)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u-u_0, v-v_0) e^{j2\pi(xu+yv)} dsdp \quad (10)$$

Si al igual que en el caso del dominio del tiempo realizamos una substitución de la siguiente forma  $s = u - u_0$  y  $p = v - v_0$ , de la substitución se tendrá también que  $du = ds$  y  $dv = dp$ , tendremos:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(u-u_0, v-v_0) e^{j2\pi(ux+vy)} dudv &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(s, p) e^{j2\pi[x(s+u_0)+y(p+v_0)]} dsdp \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(s, p) e^{j2\pi(xu_0+yv_0)} e^{j2\pi(xs+yp)} dsdp \\ &= e^{j2\pi(xu_0+yv_0)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(s, p) e^{j2\pi(xs+yp)} dsdp \end{aligned} \quad (11)$$

Tenemos entonces que si una función en el dominio de la frecuencia  $F(u, v)$  es trasladada, su transformada inversa de Fourier se multiplicara por  $e^{j2\pi(xu_0+yv_0)}$

$$TIF\{F(u-u_0, v-v_0)\} = f(x, y) e^{j2\pi(xu_0+yv_0)} \quad (12)$$

De estas dos propiedades de traslación, se muestra claramente que la magnitud de la transformada de Fourier es invariante a los desplazamientos.

#### II.4 TEOREMA DE MUESTREO:

Este teorema nos indica bajo que condiciones de muestreo una señal continua puede ser recobrada a partir de un conjunto de muestras.

Sea  $f(x)$  una función de banda limitada, esto es, los valores de su transformada de Fourier  $F(u)$  son cero para cada valor de frecuencia  $u$  fuera del intervalo  $[-W, W]$ . La condición necesaria para que  $f(x)$  se pueda recuperar a partir de un conjunto de muestras es:

$$\Delta x \leq \frac{1}{2W}$$

donde:

$\Delta x$  es el intervalo de muestreo, esto es la separación entre cada muestra.

$2W = f_n$  es llamada "frecuencia de Nyquist", y es el valor de frecuencia de muestreo mínimo para poder recuperar una señal continua muestreada.

Lo anterior significa que para poder recuperar una función continua debe ser muestreada con una frecuencia  $f_n$  al menos el doble del valor de la frecuencia más alta de la función que se vaya a muestrear, la cual determinará el intervalo de muestreo  $\Delta x$ .

Para el caso de una función bidimensional  $f(x,y)$  como una imagen, el teorema de muestreo es:

$$\Delta x \leq \frac{1}{2u} \quad \text{y} \quad \Delta y \leq \frac{1}{2v}$$

donde  $u$  y  $v$  representan las frecuencias en la dirección  $x$  y  $y$  respectivamente.

## **II. 5 TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER:**

La Transformada Discreta de Fourier (TDF) es una de las herramientas más importantes en el Procesamiento Digital de Señales, al igual que la Transformada de Fourier para una señal continua, la TDF nos permite realizar análisis en el *dominio de la frecuencia*, con la diferencia que es utilizada para el caso de señales digitalizadas como lo son las imágenes con las que realizamos nuestro trabajo.

### **II.5.1 Transformada Discreta de Fourier para una función digitalizada unidimensional.**

En el caso de una señal digitalizada, una función  $f(x)$  es muestreada tomando  $N$  muestras de la misma, esto significa que se obtendrá una sucesión finita de valores discretos.

El par de transformadas Discretas de Fourier asociadas a una sucesión finita de valores discretos de una señal digital, se expresa de la siguiente forma:

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-j(2\pi ux/N)} \quad (13)$$

Para  $u = 0, 1, \dots, N-1$

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u) e^{j(2\pi ux/N)} \quad (14)$$

Para  $x = 0, 1, \dots, N-1$

### II.5.2 Transformada Discreta de Fourier de una imagen digital:

En el caso de una función de dos variables como lo es una imagen digital, el par de Transformadas Discretas de Fourier están dadas por las expresiones:

$$F(u, v) = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi \left[ \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right]} \quad (15)$$

Para  $u = 0, 1, \dots, M-1$  y  $v = 0, 1, \dots, N-1$

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi \left[ \frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right]} \quad (16)$$

Para  $x = 0, 1, \dots, M-1$  y  $y = 0, 1, \dots, N-1$

## II.6 TEOREMA DE PARSEVAL.

El teorema de Parseval (Vijaya Kumar, 1994) establece que:

$$\int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} |f(x, y)|^2 dx dy = \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} |F(u, v)|^2 dudv \quad (17)$$

Lo cual significa, que la energía de una señal en el dominio del espacio, es igual a la energía de la señal en el dominio de la frecuencia, o sea la energía de la señal se conserva al aplicarle la transformada de Fourier.

## II.7 CONVOLUCIÓN:

Convolución es la manera matemática de combinar dos señales para formar una tercera.

### Para funciones en una dimensión:

Para funciones continuas.

$$f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x')g(x - x')dx' \quad (18)$$

Para funciones Discretas:

$$f(x) * g(x) = \sum_{x=0}^{M-1} f(m)g(x - m) \quad (19)$$

Para  $x = 0, 1, \dots, M - 1$

**Para funciones bidimensionales:**

La convolución en el dominio espacial entre dos funciones bidimensionales, es expresada matemáticamente por la doble integral:

$$f(x, y) * g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x', y') g(x - x', y - y') dx' dy' \quad (20)$$

En el caso de una señal discreta como una imagen digital se tiene:

$$f(x, y) * g(x, y) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(m, n) g(x - m, y - n) \quad (21)$$

Para  $x = 0, 1, \dots, M - 1$  e  $y = 0, 1, \dots, N - 1$

**II.8 TEOREMA DE CONVOLUCIÓN:**

El teorema de Convolución indica que la Transformada de Fourier (TF) de la convolución de dos funciones es igual al producto de la transformada de Fourier de dichas funciones, esto es:

$$TF\{f(x, y) * g(x, y)\} = F(u, v)G(u, v) \quad (22)$$

Donde  $F(u,v)$  y  $G(u,v)$  son las transformadas de Fourier de  $f(x,y)$  y  $g(x,y)$  respectivamente.

Lo anterior implica que podemos calcular la convolución de dos funciones aplicando la transformada inversa de Fourier al resultado de la multiplicación de las correspondientes transformadas de Fourier de cada función:

$$f(x,y) * g(x,y) = TF^{-1}\{F(u,v)G(u,v)\} \quad (23)$$

### **II.9 CORRELACIÓN:**

La correlación es una operación matemática que nos indica el grado de relación entre dos parámetros, ya sean estos parámetros funciones continuas o funciones discretas.

#### ***En una dimensión:***

Si tenemos una serie de datos representados por la función  $f(m)$  la cual es nuestra función objetivo, y tenemos además una serie de datos los cuales hemos recopilado de algún experimento. La correlación nos indica si los datos recopilados del experimento son iguales a los datos de nuestra función objetivo  $f(m)$  o que tan parecidos son.

Se tiene entonces que los datos de nuestro experimento contienen puntos iguales o cercanos a  $f(m)$ , o sea que existe una diferencia entre ellos, entonces los datos obtenidos serán  $g(m-x)$ .

Entonces la diferencia entre  $f(m)$  y  $g(m-x)$  es:

$$d_{f,g}^2(x) = \sum_x [f(m) - g(m-x)]^2 \quad (24)$$

Esto es el valor absoluto de las distancias entre la función objetivo y la función a analizar, lo cual nos dirá que tan diferentes o parecidas son entre ellas.

Desarrollando el binomio cuadrado nos queda:

$$d_{f,t}^2(x) = \sum_x [f^2(m) - 2f(m)g(m-x) + g^2(m-x)] \quad (25)$$

Los términos  $f^2(m)$  y  $t^2(m-x)$  nos indican la energía de las señales que de acuerdo al Teorema de Parseval, se mantendrán constantes.

Por lo tanto el único término que puede determinar una diferencia al evaluar la ecuación 25, permitiéndonos encontrar la diferencia entre las señales es:

$$\sum_x f(m)g(m-x) \quad (26)$$

El cual es la expresión matemática de Correlación, ya que el comportamiento de este termino determinara la similitud o diferencia entre dos funciones.

Por lo tanto la expresión general de la correlación para dos funciones en una dimensión esta dada por:

$$c(x) = f(x) \circ g(x) = \sum_{x=0}^{M-1} f(m)g(m-x) \quad (27)$$

Para  $x=0,1,2,3,\dots,M-1$ .

Para una función Continua la correlación se expresa:

$$f(x) \circ g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x')g(x'-x)dx' \quad (28)$$

**En dos dimensiones:**

Caso Continuo:

$$f(x) \circ g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x', y')g(x'-x, y'-y)dx' dy' \quad (29)$$

Caso Digital:

$$f(x) \circ g(x, y) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(m, n)g(x-m, y-n) \quad (30)$$

Para  $x = 0,1,2,\dots,M-1$ ;  $y = 0,1,2,\dots,N-1$

## II.10 TEOREMA DE CORRELACIÓN:

El Teorema de Correlación indica que la transformada de Fourier de la correlación de  $f(x)$  y  $g(x)$  es igual a la multiplicación de los espectros de frecuencia de la transformada de Fourier de  $f(x)$  y el conjugado de la transformada de Fourier de  $g(x)$ .

$$TF\{f(x) \circ g(x)\} = F(u)G^*(u) \quad (31)$$

Lo anterior es posible debido a que la correlación esta relacionada con la convolución de la siguiente manera.

Si tenemos la función  $f(x)$  y una función  $g(-x)$ . La convolución entre ellas será:

$$f(x) * g(-x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x')g[-(x-x')]dx' \quad (32)$$

$$f(x) * g(-x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x')g[(x'-x)]dx' \quad (33)$$

dado que

$$f(x) \circ g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x')g(x'-x)dx' \quad (34)$$

entonces:

$$f(x)^* g(-x) = f(x) \circ g(x) \quad (35)$$

Por lo tanto se puede calcular la correlación de dos funciones mediante:

Para funciones en una dimensión.

$$f(x) \circ g(x) = TF^{-1}\{F(u)G^*(u)\} \quad (36)$$

Para una función en dos dimensiones, como una imagen.

$$f(x, y) \circ g(x, y) = TF^{-1}\{F(u, v)G^*(u, v)\} \quad (37)$$

donde \* indica el complejo conjugado.

### III. METODOS.

Se implementaron 3 diferentes métodos de correlación, estos fueron: Correlación clásica, correlación solo de fase y correlación de fase extrema. En cada método se tomó en cuenta la información de color de las imágenes obtenidas de las muestras teñidas con auramina, para ello se descompuso la información de color en los tres canales primarios, Verde, Rojo y Azul.

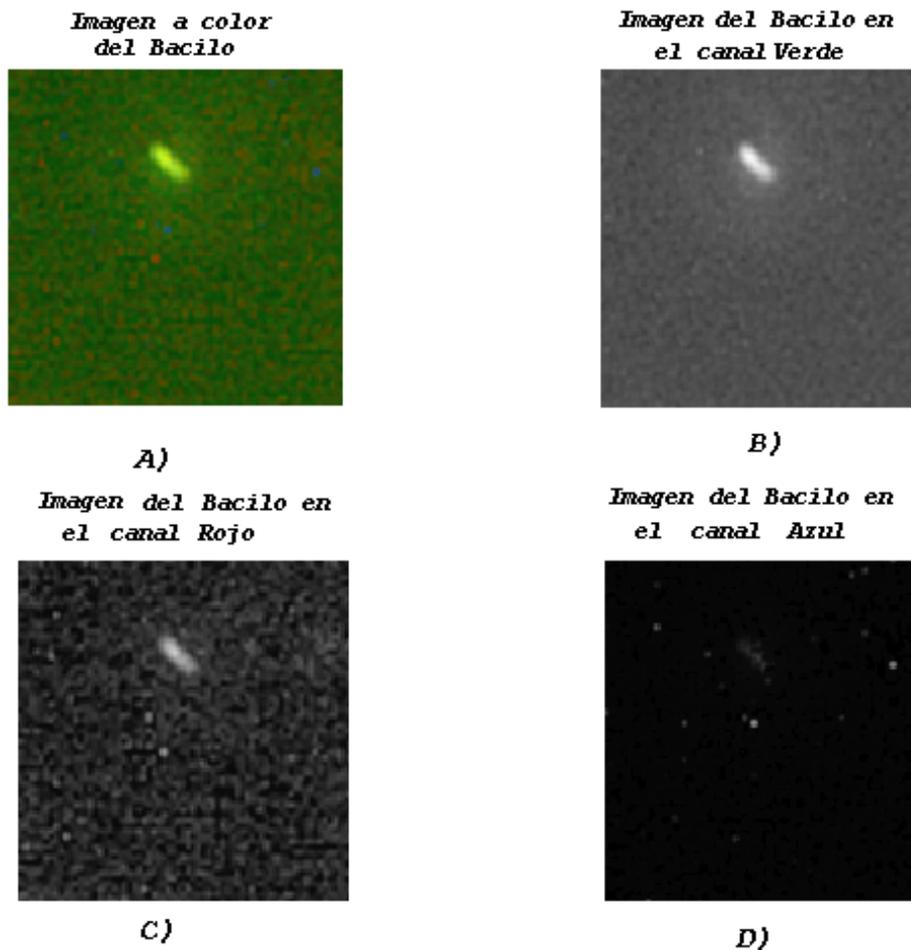


Figure 6 Descomposición de la información de color en los tres canales primarios.

En la figura 6 se muestra la descomposición en los tres canales primarios de una imagen a color del bacilo *Mycobacterium Tuberculosis* teñido con auramina, esto nos indica qué tanta información aporta cada canal a la formación de la imagen a color. En la figura 6A se observa el bacilo obteniendo un color amarillento al ser teñido con auramina.

En la figura 6B se observa la información solo en el canal verde. En la figura 6C se muestra la información en el canal rojo. En la figura 6D se puede observar el canal azul.

De las imágenes anteriores, se observa claramente que el canal azul no aporta información significativa para la formación de la imagen a color del bacilo, por lo cual el canal azul es descartado para el proceso de correlación, ahorrando de esta forma tiempo en el procesamiento. Por lo tanto, en cada método utilizado, solo se tomó en cuenta los canales Verde y Rojo ya que son los únicos que realmente aportan información significativa a la formación de la imagen amarillenta del bacilo. Las imágenes procesadas eran 256X256 píxeles de tamaño.

### **III.1 MÉTODO DE CORRELACIÓN CLÁSICA:**

Problema:

Sea  $f(x,y)$  una imagen problema (256x256) y deseamos identificar algún objeto dentro de  $f(x,y)$ , además dicho objeto a ser identificado lo tenemos en una imagen filtro  $g(x,y)$  (256x256). Para poder hacer la identificación de dicho objeto, efectuamos una correlación clásica.

Una identificación positiva de un objeto está dada por la aparición de un pico (pico de correlación) en el lugar donde se encuentre el objeto que se busca identificar.

Dicha correlación es implementada en el dominio de la frecuencia mediante el cálculo de la transformada inversa de Fourier de la multiplicación de la transformada de Fourier de nuestra imagen problema y el conjugado de la transformada de Fourier de nuestra imagen filtro.

$$c(x, y) = TF^{-1}[F(u, v)G^*(u, v)] \quad (38)$$

donde:

$F(u, v)$ : Transformada de Fourier de la imagen problema.

$G^*(u, v)$ : Conjugado de la Transformada de Fourier de la imagen filtro.

En nuestro caso la imagen filtro se trata del bacilo *Mycobacterium Tuberculosis*, del cual se puede encontrar diferentes morfologías, esto significa que se puede encontrar el bacilo en diferentes tamaños (entre 0.8 y 1  $\mu\text{m}$ ), así como diferentes ángulos de inclinación, por lo tanto el uso de una sola imagen filtro no es suficientemente eficiente para la identificación del bacilo para diferentes morfologías. Por lo tanto es necesario considerar un banco de imágenes de donde se puede contar con diferentes morfologías del bacilo.

Las correlaciones por lo tanto se realizaron entre la imagen problema y un banco de imágenes. Esto se logra realizando una suma del total de las correlaciones de la imagen problema con cada uno de los elementos del banco de imágenes. Este proceso se realizó tomando en cuenta la información de color, esto significa que repetimos el proceso para el canal verde y el canal rojo. El canal azul es descartado, dado que el canal azul, como se observó, no aporta información significativa para la formación de las imágenes del bacilo.

El resultado final será la multiplicación de los resultados en el canal verde y el canal rojo de la correlación de la imagen problema y el banco de imágenes en cada uno de los canales mencionados respectivamente.

**El proceso se resume en los siguientes pasos:**

1. Se carga el banco de imágenes

$$g(x, y)_i$$

donde:  $i$  es la cantidad de elementos o imágenes filtros que componen el banco de imágenes.

2. Se descompone cada uno de los elementos del banco de imágenes en su canal verde y canal rojo.

$$g(x, y)_{i\lambda} \quad \text{donde: } \lambda \text{ es la longitud de onda,}$$

$\lambda =$  rojo, verde.

3. Se calcula la transformada de Fourier para el banco de imágenes en cada uno de los canales.

$$G(u, v)_{i\lambda} = TF\{g(x, y)_{i\lambda}\}$$

4. Se obtiene el conjugado de la transformada de Fourier del banco de imágenes.

$$G^*(u, v)_{i\lambda}$$

5. Se lee la imagen problema  $f(x, y)$ .

6. Se descompone la imagen problema en el canal verde y el canal rojo.

$f(x, y)_\lambda$  donde  $\lambda$  es la longitud de onda para el canal verde y el canal rojo respectivamente.

7. Se calcula la Transformada de Fourier de la imagen problema para el canal verde y el canal rojo.  $F(u, v)_\lambda$   $\lambda = \text{Verde, Rojo}$ .

8. Se obtienen las correlaciones en cada canal de la imagen problema con cada uno de los elementos del banco de imágenes, mediante el cálculo de la transformada inversa de la multiplicación de los espectros de frecuencia de la imagen problema y el conjugado de la transformada de Fourier del banco de imágenes para cada canal.

$$c(x, y)_{i\lambda} = TF^{-1}\{F(u, v)_\lambda G^*(u, v)_{i\lambda}\}$$

donde:  $\lambda = \text{Verde, rojo}$

$i = \text{numero de elementos del banco de imágenes.}$

9. Se realiza una sumatoria de los resultados de las correlaciones entre la imagen problema y cada uno de los elementos del banco de imágenes para cada canal.

$$Sverde = \sum_{i=1}^i c(x, y)_{i\lambda} \quad \text{donde } i = \text{elementos del banco.}$$

$\lambda =$  Canal verde.

$$Srojo = \sum_{i=1}^i c(x, y)_{i\lambda} \quad \text{donde } i = \text{elementos del banco.}$$

$\lambda =$  Canal rojo.

10. Finalmente se lleva a cabo una multiplicación de los resultados en cada canal, esto para poder observar el pico de correlación, el cual nos indicará la localización del bacilo en la imagen problema.

$$c(x, y) = (Sverde)(Srojo) \quad (39)$$

La razón para realizar una multiplicación es debido a que para poder considerar una identificación como positiva, debemos tener un pico de correlación en el mismo lugar para cada canal, en este caso, seguiremos obteniendo un pico de correlación en el mismo lugar al realizar la multiplicación. En caso de que solo exista un pico de correlación en solo un canal, el pico de correlación no se observara después de la multiplicación de los resultados, en caso de no existir un pico de correlación, se considera una identificación negativa.

### III. 2 MÉTODO DE CORRELACIÓN SOLO DE FASE:

La correlación solo de fase, se le denomina así debido a la utilización de un filtro de información parcial, esto es un filtro solo de fase (*POF*:Phase Only Filter), implementado por primera vez por Horner y Gianino(1984). Se ha demostrado que el *POF* produce picos mas agudos en la correlación (Vijaya Kumar, 1994).

Si tenemos la transformada de Fourier  $F(u,v)$  de una imagen  $f(x,y)$ . Además tenemos la transformada de Fourier  $G(u,v)$  de una imagen filtro  $g(x,y)$  dada por la notación polar:

$$G(u, v) = |G(u, v)| e^{j\phi(u, v)} \quad (40)$$

donde:  $|G(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)}$  es la magnitud de la Transformada de Fourier de  $g(x, y)$ .

$e^{j\phi(u, v)}$  Factor de fase de la transformada de Fourier de  $g(x, y)$ .

$$\phi_g(u, v) = \tan^{-1} \left[ \frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right]$$

$I(u, v)$  es la parte imaginaria de la Transformada de Fourier de  $g(x, y)$ .

$R(u,v)$  es la parte real de la Transformada de Fourier de  $g(x,y)$ .

La correlación solo de fase, esta dada por:

$$c(x, y) = TF^{-1} \{ F(u, v) PhG^* (u, v) \} \quad (41)$$

o también

$$c(x, y) = TF^{-1} \{ F(u, v) e^{-j\phi(u,v)} \} \quad (42)$$

donde:

$F(u, v)$  es la transformada de Fourier de la imagen problema.

y

$PhG^* (u, v) = e^{-j\phi(u,v)}$  es el conjugado de de la fase de la Transformada de Fourier de la imagen filtro.

**El proceso para la correlación solo de fase se resume en los siguientes pasos:**

1. Se carga el banco de imágenes

$g(x, y)_i$  donde:  $i$  es la cantidad de elementos o imágenes filtros que componen el banco de imágenes.

2. Se descompone cada uno de los elementos del banco de imágenes en su canal verde y canal rojo.

$g(x, y)_{i\lambda}$  donde  $\lambda$  es la longitud de onda,  
 $\lambda = \text{verde, rojo.}$

3. Se calcula la transformada de Fourier para el banco de imágenes en cada uno de los canales.

$$G(u, v)_{i\lambda} = TF\{g(x, y)_{i\lambda}\}$$

4. Se extrae el espectro de fase de la transformada de Fourier de cada elemento del banco de imágenes para cada canal.

$$PhG_{i\lambda} = e^{j\phi_{i\lambda}(u, v)}$$

$i = \text{elementos del banco de imágenes.}$   
 $\lambda = \text{Verde, Rojo.}$

5. Se obtiene el conjugado de la transformada de Fourier del banco de imágenes.

$$PhG(u, v)_{i\lambda}^* = (e^{j\phi_{i\lambda}(u, v)})^* = e^{-j\phi_{i\lambda}(u, v)}$$

6. Se lee la imagen problema  $f(x, y)$ .

7. Se descompone la imagen problema en el canal verde y el canal rojo.

$f(x, y)_{\lambda}$  donde:  $\lambda$  es la longitud de onda para el  
 canal verde y el canal rojo respectivamente.

8. Se calcula la Transformada de Fourier de la imagen problema para el canal verde y el canal rojo.  $F(u, v)_{\lambda}$   $\lambda = \text{Verde, Rojo.}$

9. Se obtienen las correlaciones en cada canal de la imagen problema con cada uno de los elementos del banco de imágenes, mediante el cálculo de la transformada inversa de la multiplicación de los espectros de frecuencia de la imagen problema y el conjugado de la fase del espectro de frecuencia de la transformada de Fourier del banco de imágenes para cada canal.

$$c(x, y)_{i\lambda} = TF^{-1}\{F(u, v)_{\lambda} PhG^*(u, v)_{i\lambda}\} \quad (43)$$

$$c(x, y)_{i\lambda} = TF^{-1}\{F(u, v)_{\lambda} e^{-j\phi(u, v)_{i\lambda}}\} \quad (44)$$

donde:  $\lambda =$  Verde, rojo

$i =$  número de elementos del banco de imágenes.

10. Se realiza una sumatoria de los resultados de las correlaciones entre la imagen problema y cada uno de los elementos del banco de imágenes para cada canal.

$$S_{verde} = \sum_{i=1}^i c(x, y)_{i\lambda} \quad \text{donde } i = \text{elementos del banco.}$$

$\lambda =$  Canal verde.

$$S_{rojo} = \sum_{i=1}^i c(x, y)_{i\lambda} \quad \text{donde } i = \text{elementos del banco.}$$

$\lambda =$  Canal rojo.

11. Finalmente se lleva a cabo una multiplicación de los resultados en cada canal, esto para poder observar el pico de correlación, el cual nos indicara la localización del bacilo en la imagen problema.

$$c(x, y) = (Sverde)(Srojo)$$

### III.3 MÉTODO DE CORRELACIÓN DE FASE EXTREMA.

Este método utiliza solo la información de fase tanto de la imagen problema como del filtro. Si tenemos la transformada de Fourier  $F(u, v)$  de una imagen  $f(x, y)$ . Además tenemos la transformada de Fourier  $G(u, v)$  de una imagen filtro  $g(x, y)$  dadas por la notación polar:

$$G(u, v) = |G(u, v)| e^{j\phi(u, v)} \quad (45)$$

y

$$F(u, v) = |F(u, v)| e^{j\theta(u, v)} \quad (46)$$

donde:  $|G(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)}$  magnitud de la Transformada de Fourier de  $g(x, y)$ .

$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)}$  magnitud de la Transformada de Fourier de  $f(x, y)$ .

$e^{j\phi(u, v)}$  espectro de fase de la transformada de Fourier de  $g(x, y)$ .

$e^{j\theta(u,v)}$  espectro de fase de  
la transformada de Fourier de  $f(x,y)$ .

$$\phi_g(u,v) = \tan^{-1} \left[ \frac{I(u,v)}{R(u,v)} \right]$$

$$\theta_f(u,v) = \tan^{-1} \left[ \frac{I(u,v)}{R(u,v)} \right]$$

La correlación de fase extrema, esta dada por:

$$c(x,y) = TF^{-1} \{ Phf(u,v) \cdot PhG^*(u,v) \} \quad (47)$$

donde:

$PhG^*(u,v) = e^{-j\phi(u,v)}$  es el conjugado de  
de la fase de la transformada de  
Fourier de la imagen filtro  $g(x,y)$ .

$PhF(u,v) = e^{j\theta(u,v)}$  es la fase de la  
Transformada de Fourier de la imagen problema  
 $f(x,y)$ .

También puede escribirse de la siguiente forma:

$$c(x, y) = TF^{-1} \{ e^{j\theta(u,v)} e^{-j\phi(u,v)} \} \quad (48)$$

**El proceso para la correlación de fase extrema se resume en los siguientes pasos:**

1. Se carga el banco de imágenes

$g(x, y)_i$  donde:  $i$  es la cantidad de elementos o imágenes  
filtros que componen el banco de imágenes.

2. Se descompone cada uno de los elementos del banco de imágenes en su canal verde y canal rojo.

$g(x, y)_{i\lambda}$  donde:  $\lambda$  es la longitud de onda,  
 $\lambda =$  verde, rojo.

3. Se calcula la transformada de Fourier para el banco de imágenes en cada uno de los canales.

$$G(u, v)_{i\lambda} = TF \{ g(x, y)_{i\lambda} \}$$

4. Se extrae el espectro de fase de la transformada de Fourier de cada elemento del banco de imágenes para cada canal.

$$PhG_{i\lambda} = e^{j\phi_{i\lambda}(u,v)}$$

$i =$  elementos del banco de imágenes.

$\lambda =$  Verde, Rojo.

5. Se obtiene el conjugado de la transformada de Fourier del banco de imágenes.

$$PhG(u, v)_{i\lambda}^* = (e^{j\phi_{i\lambda}(u, v)})^* = e^{-j\phi_{i\lambda}(u, v)}$$

6. Se lee la imagen problema  $f(x, y)$ .

7. Se descompone la imagen problema en el canal verde y el canal rojo.

$f(x, y)_\lambda$  donde  $\lambda$ : es la longitud de onda para el canal verde y el canal rojo respectivamente.

8. Se calcula la Transformada de Fourier de la imagen problema para el canal verde y el canal rojo.  $F(u, v)_\lambda$   $\lambda =$  Verde, Rojo.

9. Se extrae el espectro de fase de la transformada de Fourier de la imagen problema para cada canal.

$$PhF_\lambda = e^{j\theta(u, v)_\lambda}$$

$\lambda =$  Verde, Rojo.

10. Se obtienen las correlaciones en cada canal de la imagen problema con cada uno de los elementos del banco de imágenes, mediante el cálculo de la transformada inversa de la multiplicación de las fases de los espectros de frecuencia de la imagen problema y el conjugado de la fase del espectro de frecuencia de la transformada de Fourier del banco de imágenes para cada canal.

$$c(x, y)_{i\lambda} = TF^{-1} \{ PhF(u, v)_{i\lambda} PhG^*(u, v)_{i\lambda} \} \quad (49)$$

$$c(x, y)_{i\lambda} = TF^{-1} \{ e^{j\theta(u, v)_{i\lambda}} e^{-j\phi(u, v)_{i\lambda}} \} \quad (50)$$

donde:  $\lambda =$  Verde, rojo

$i =$  numero de elementos del banco de imágenes.

11. Se realiza una sumatoria de los resultados de las correlaciones entre la imagen problema y cada uno de los elementos del banco de imágenes para cada canal.

$$S_{verde} = \sum_{i=1}^i c(x, y)_{i\lambda} \quad \text{donde } i = \text{elementos del banco.}$$

$\lambda =$  Canal verde.

$$S_{rojo} = \sum_{i=1}^i c(x, y)_{i\lambda} \quad \text{donde } i = \text{elementos del banco.}$$

$\lambda =$  Canal rojo.

12. Finalmente se lleva a cabo una multiplicación de los resultados en cada canal, esto para poder observar el pico de correlación, el cual nos indicara la localización del bacilo en la imagen problema.

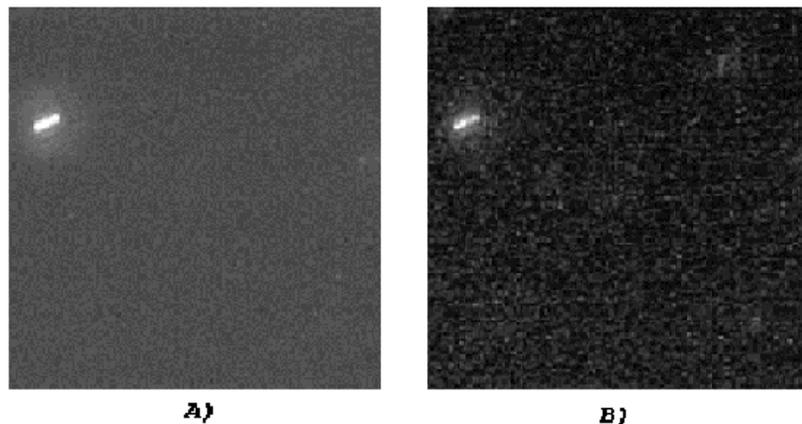
$$c(x, y) = (S_{verde})(S_{rojo})$$

## CAPITULO 3.

### "RESULTADOS Y DISCUSIONES"

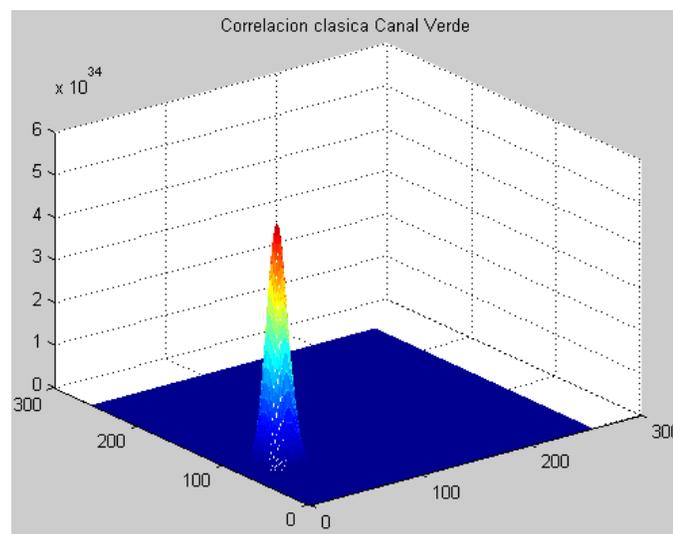
En esta sección se presentan gráficamente los resultados obtenidos de los métodos de correlación empleados. De la figura 7 a la 26 se muestran imágenes problema que fueron sometidas al proceso de detección para determinar la presencia del bacilo de Tuberculosis, correlacionándolas con una banco de imágenes, además se muestran sus respectivas gráficas de resultados para el método de correlación clásica, correlación de fase y correlación de fase extrema. Los resultados son gráficas donde se observa las coordenadas en píxeles  $(x,y)$ , donde el origen  $(0,0)$  corresponde a la parte superior izquierda de las imágenes problema.

En la figura 7 se muestra la imagen problema separada en el canal verde (Fig.7A) y canal rojo (Fig.7B). Se puede ver claramente la información en cada uno de los dos canales, la cual presenta una partícula u organismo con las características del bacilo de Tuberculosis.

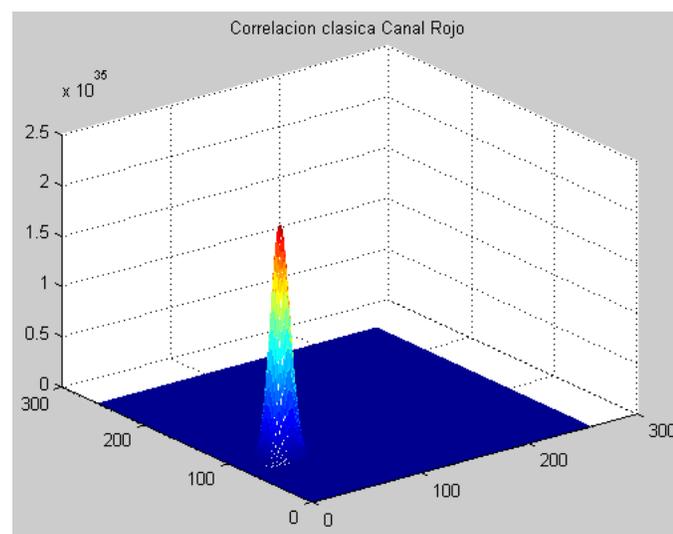


**Figura 7: Imagen problema 1 separada en canales verde A) y Rojo B).**

En la figura 8, se muestran las gráficas de los resultados de la aplicación del método de correlación clásica, en el canal verde (figura 8A) y en el canal rojo (figura 8B). Realizando una comparación de estas gráficas con la imagen problema de la figura 7, se puede observar claramente como se obtiene un pico de correlación. El pico de correlación indica que en ese preciso lugar de la imagen problema se encuentra el objeto que buscamos, esto es en nuestro caso, el bacilo *Mycobacterium Tuberculosis*.

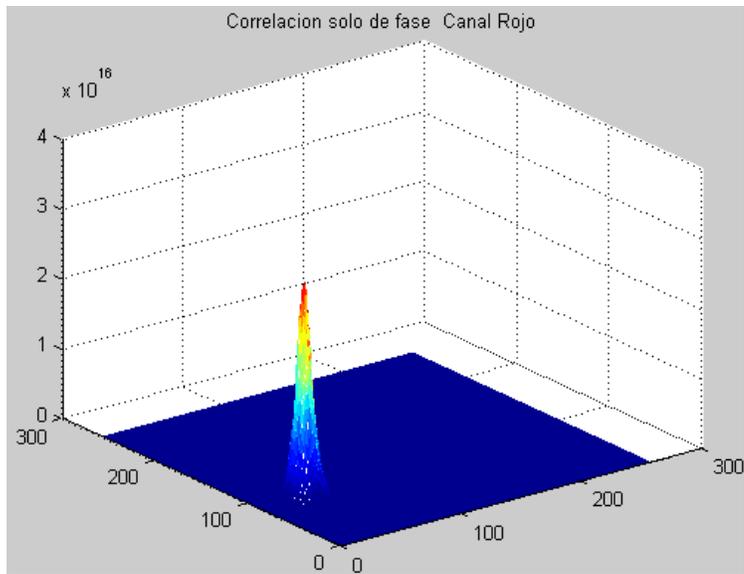


**A) Resultados Canal Verde**

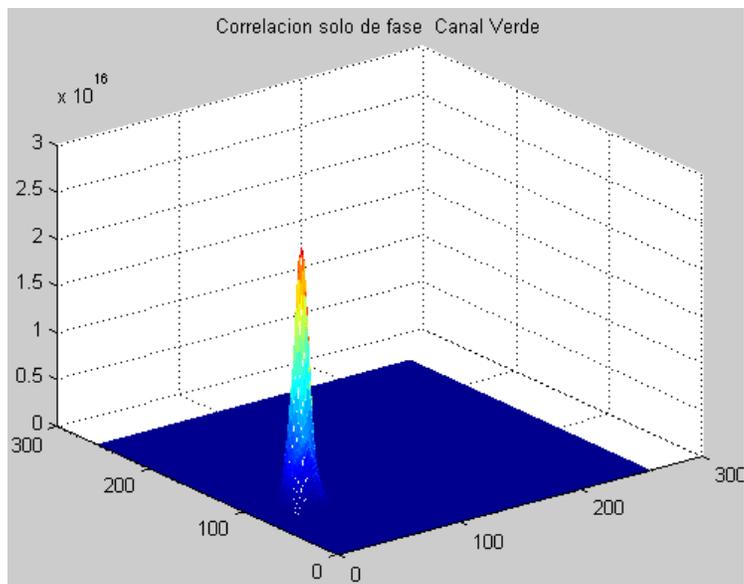


**B) Resultados Canal Rojo**

**Figura 8. Resultados de Correlación Clásica.**



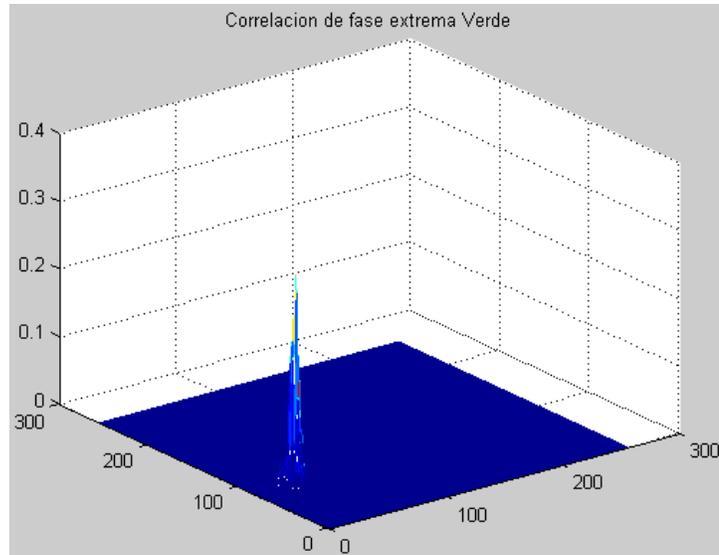
**A) Resultados Canal Verde**



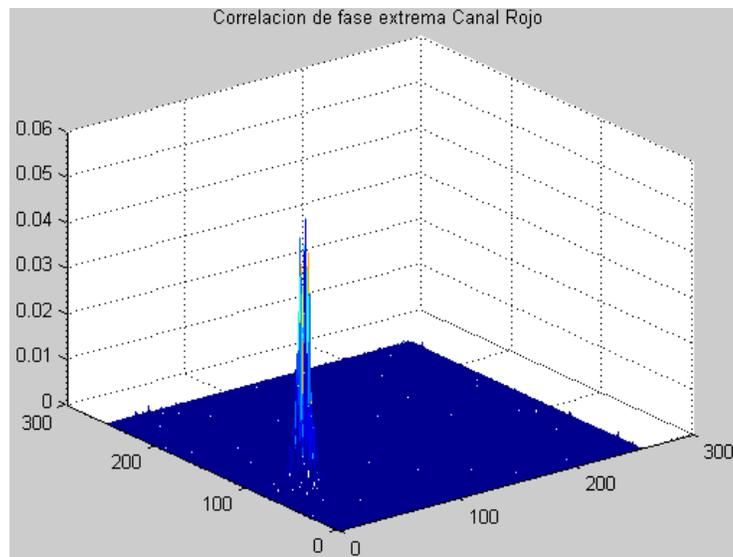
**B) Resultados Canal Rojo**

**Figura 9. Resultados de Correlación solo de Fase.**

En la figura 9 se presentan las gráficas de los resultados del método de correlación solo de fase en cada uno de los canales. Se puede ver al igual que en los resultados de la correlación clásica un pico de correlación. En este caso se obtiene un pico de correlación más fino que en el método de correlación clásica.



**A) Resultados Canal Verde**

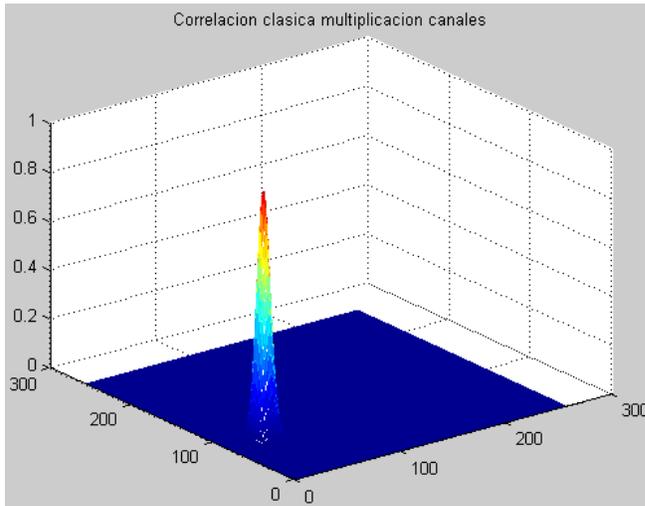


**B) Resultados Canal Rojo**

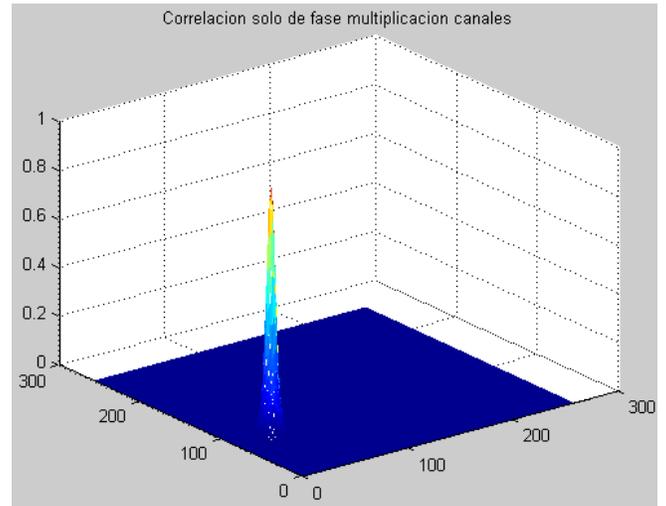
**Figura 10. Resultados de Correlación de Fase Extrema.**

En la figura 10 tenemos las gráficas de los resultados del método de correlación de fase extrema en el canal verde y rojo. Al igual que en los anteriores 2 métodos, tenemos como resultado un pico de correlación en el mismo sitio. Aquí como se observa el pico de correlación, es mucho mas claro y detallado que en los dos métodos anteriores.

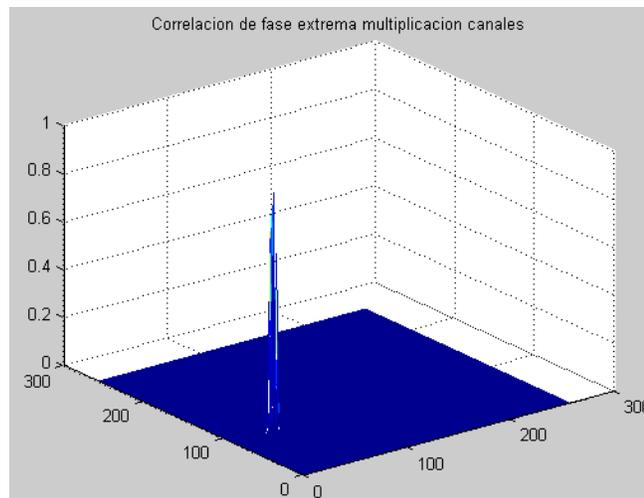
## MULTIPLICACIÓN DEL CANAL ROJO Y EL CANAL VERDE.



A) Multiplicación para Correlación Clásica.



B) Multiplicación para Correlación solo de fase.

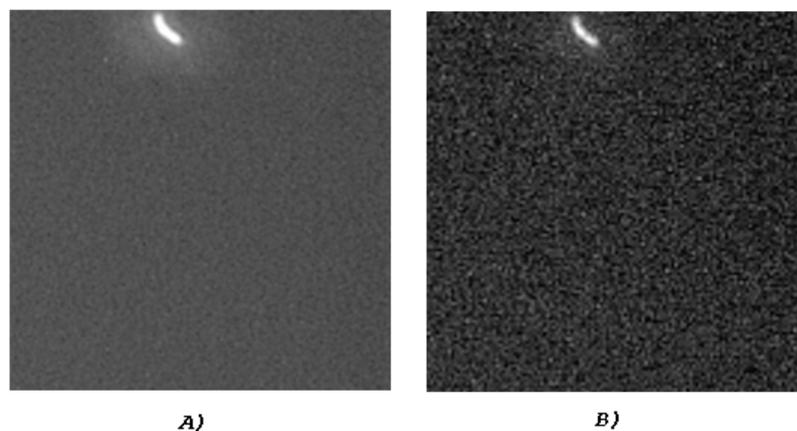


C) Multiplicación para Correlación de Fase Extrema.

**Figura 11: Gráficas para cada método de correlación de la multiplicación de los resultados en los dos canales verde y rojo.**

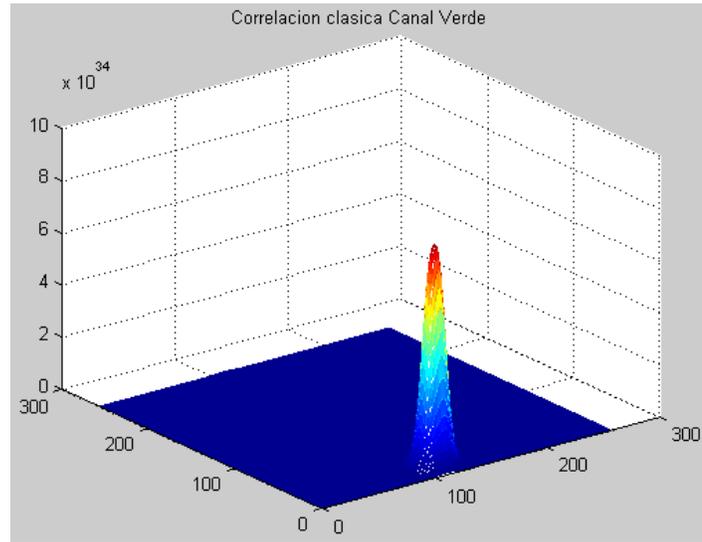
En la figura 11 se puede observar el resultado final, el cual es la multiplicación de los resultados de los dos canales verde y rojo para cada uno de los métodos de correlación empleados. La figura 11A muestra la multiplicación para la correlación clásica, la figura 11B muestra el resultado de la multiplicación para correlación solo de fase y la figura 11C muestra el resultado de la multiplicación para la correlación de fase extrema. Claramente se puede ver como después de la multiplicación el pico de correlación se mantiene localizado en el mismo sitio donde se había observado previamente en los resultados obtenidos independientemente en cada canal. Obtener como resultado picos de correlación en todos los canales simultáneamente significa que la partícula que observamos presente en la imagen de la muestra analizada (imagen problema) es el bacilo *Mycobacterium Tuberculosis*, esto es, una detección positiva.

En la figura 12 tenemos otra imagen problema, donde la información muestra una partícula localizada en otro sitio diferente dentro de la imagen con respecto a la imagen problema mostrada anteriormente, así mismo un tamaño diferente y un ángulo de orientación diferente (rotado).

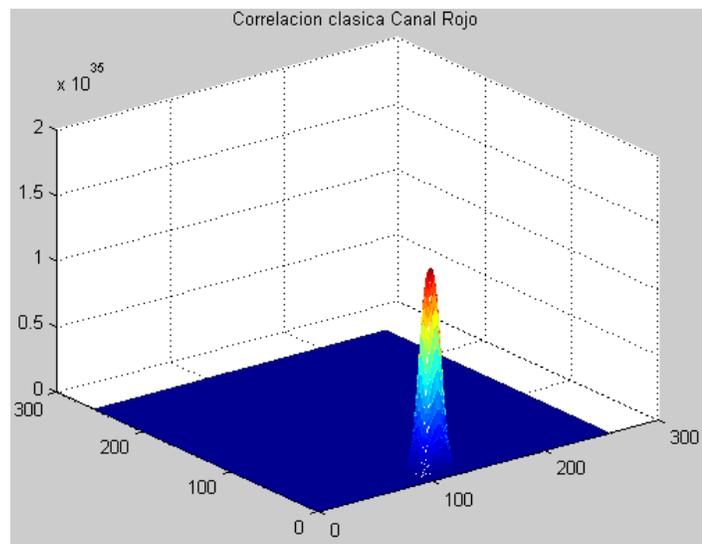


**Figura 12: Imagen problema 2 separada en canales verde A) y Rojo**

En la figura 13 se muestran las gráficas de los resultados del método de correlación clásica para la imagen problema de la figura 12, donde se observa de nueva cuenta que el resultado es un pico de correlación en cada uno de los respectivos canales.



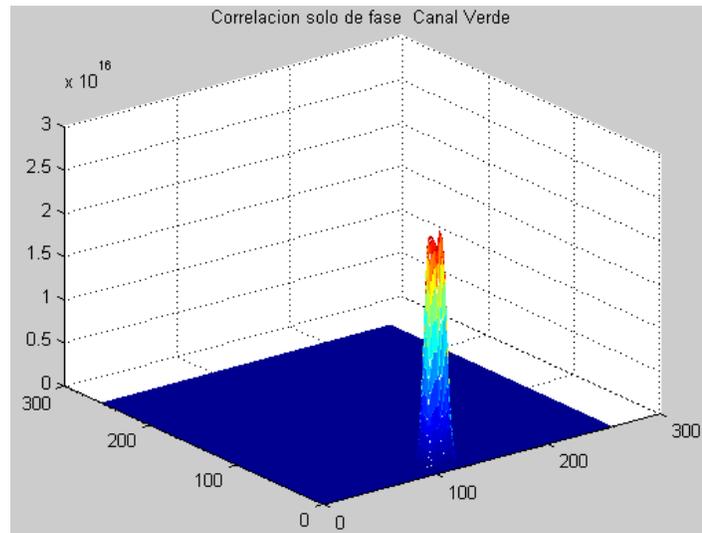
**A) Resultados Canal Verde**



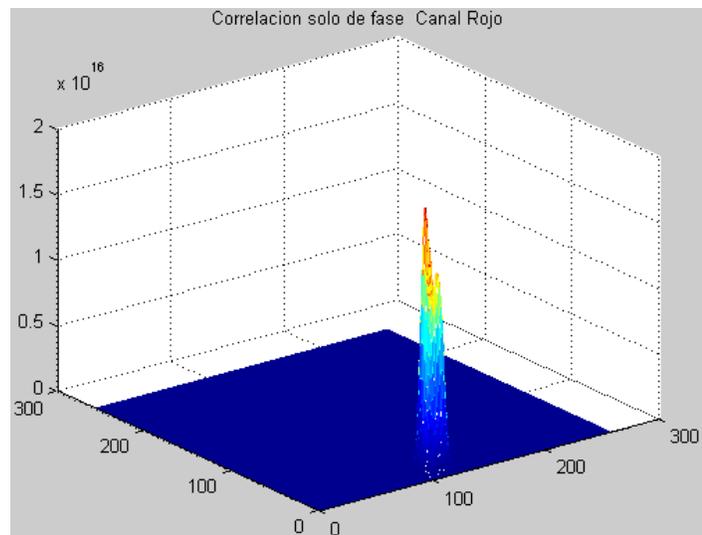
**B) Resultados Canal Rojo**

**Figura 13. Resultados de Correlación Clásica.**

En la figura 14 tenemos las gráficas de los resultados con el método de correlación solo de fase, igualmente observamos la presencia de un pico de correlación.



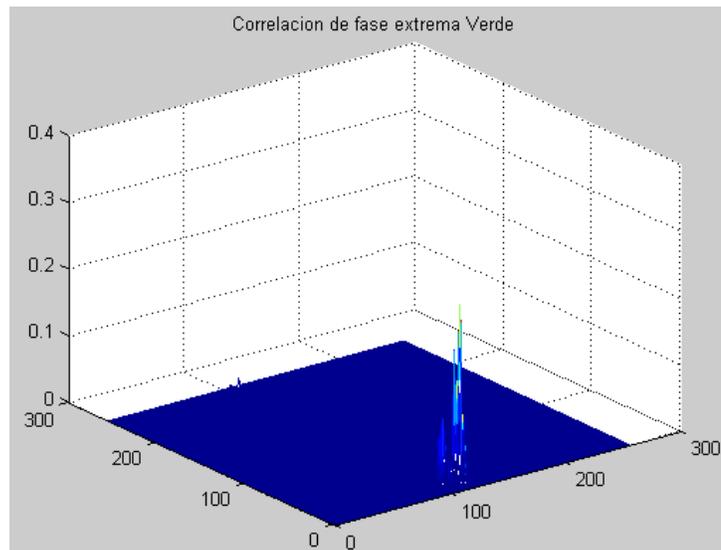
A) Resultados Canal Verde



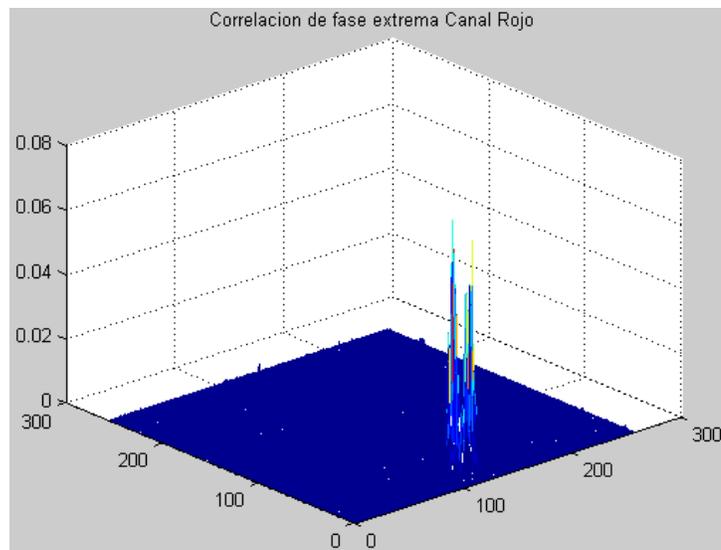
A) Resultados Canal Rojo

**Figura 14. Resultados de Correlación solo de fase.**

En la figura 15 se muestran las gráficas de los resultados del método de correlación de fase extrema obteniendo como resultado igualmente un pico de correlación, el cual al igual que en los resultados obtenidos al procesar las imagen problema anterior se observa que el método de correlación extrema da como resultado un pico de correlación mas fino que los otros dos métodos.



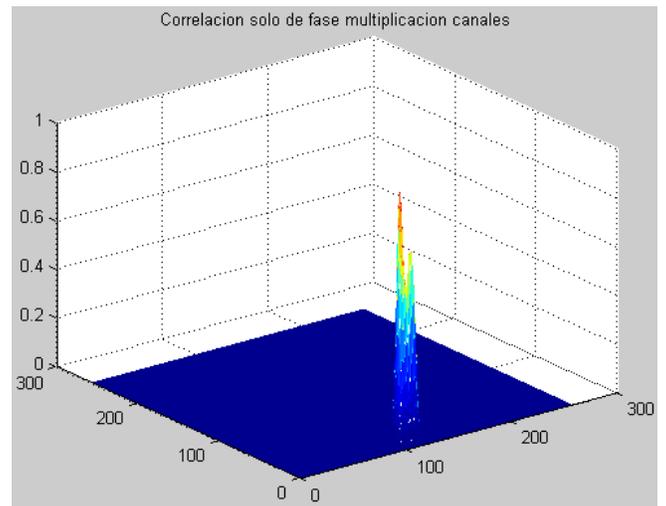
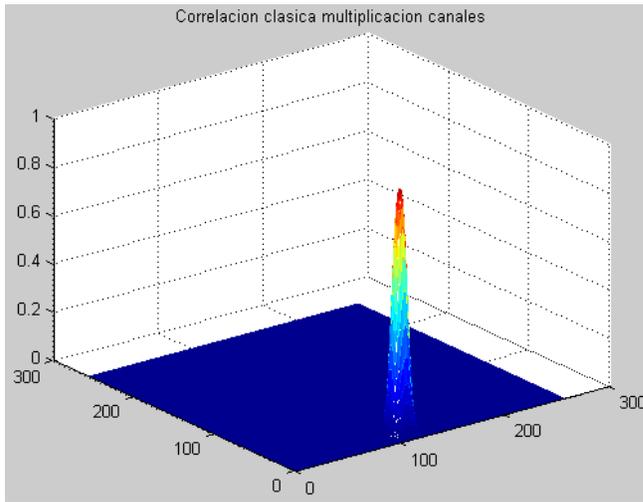
**A) Resultados Canal Verde**



**B) Resultados Canal Rojo**

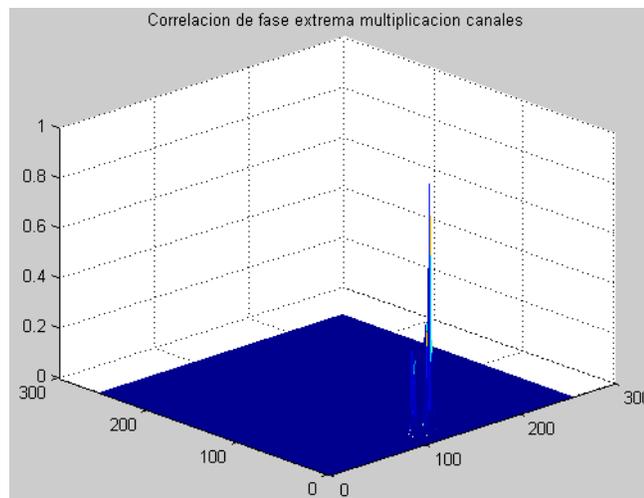
**Figura 15. Resultados de Correlación de fase extrema.**

## MULTIPLICACIÓN DEL CANAL ROJO Y EL CANAL VERDE.



A) Multiplicación para Correlación Clásica

B) Multiplicación para Correlación solo de fase

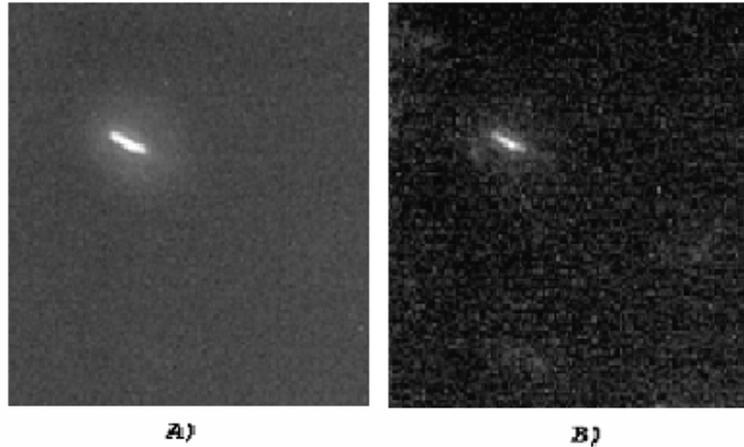


C) Multiplicación para Correlación de Fase Extrema.

**Figura 16: Gráficas para cada método de correlación de la multiplicación de los resultados en los dos canales verde y rojo.**

En la figura 16 tenemos el resultado final, el cual es la multiplicación de los resultados de los canales Verde y Rojo. La figura 16A muestra el resultado de la multiplicación para la correlación clásica, la figura 16B muestra el resultado el resultado de la multiplicación para la correlación solo de fase y la figura 16C muestra el resultado de la multiplicación para la correlación de fase extrema. Al igual que en el caso de la primera imagen problema procesada (figura 7), los resultados muestran un pico de correlación después de haber sido realizada la multiplicación, esto es debido a que el pico de correlaciones es consistente simultáneamente en los dos canales, lo que indica la presencia del bacilo en la imagen problema, obteniendo de esta forma una detección positiva del bacilo de la bacteria *Mycobacterium Tuberculosis*. Los resultados positivos en este caso se obtuvieron en una imagen problema que contiene un bacilo de Tuberculosis con una morfología diferente, así mismo, se encontraba localizado en un sitio diferente con respecto al bacilo de la primera imagen problema de la figura 7.

Ahora en la figura 17 tenemos una nueva imagen problema separada en el canal verde y canal rojo las cuales contienen otra partícula, se puede observar que la imagen en el canal verde se mira mas limpia, esto es, el canal verde proporciona información mas clara que el canal rojo.

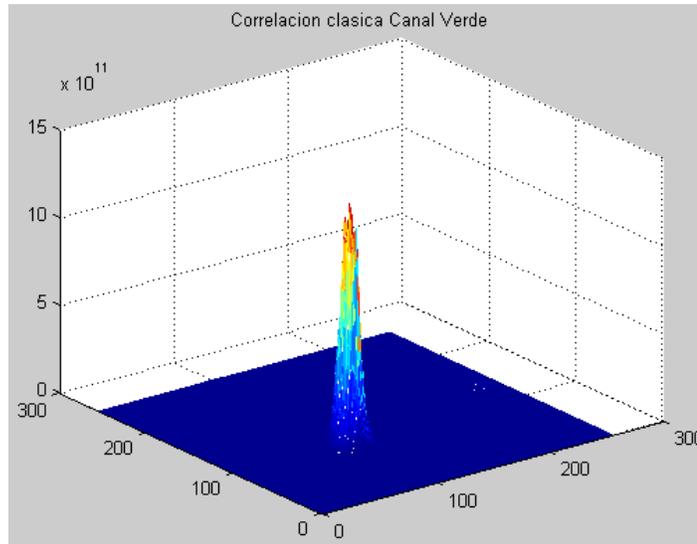


**Figura 17: Imagen problema 3 separada en canales verde A) y Rojo B).**

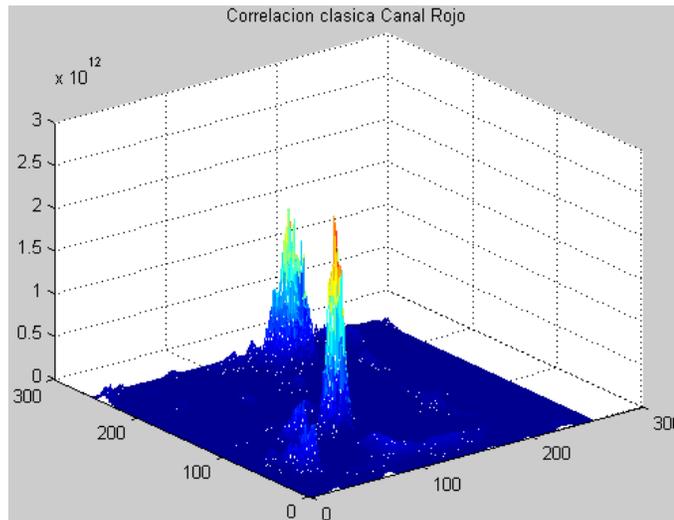
Estas imágenes nos proporcionan información diferente a las anteriores imágenes problema procesadas, esto es debido a que como se puede observar la partícula contenida en las imágenes de cada canal se encuentra localizado en un sitio diferente al que tenía en las anteriores imágenes problema de la figura 7 y figura 12, así mismo se encuentra con una orientación y tamaño diferente a la que tenían los bacilos contenido en las anteriores imágenes problema.

En la figura 18 se muestran los resultados al aplicar el método de correlación clásica, en los dos canales. Se puede observar en la gráfica del canal verde (Fig. 13A) un solo pico de correlación localizado en el sitio donde se encuentra el bacilo. En el canal rojo (Fig. 13B) se aprecian dos picos de correlación, lo cual no corresponde con la cantidad de bacilos presentes, lo cual significa que uno de ellos debe ser un pico de correlación falso, por esta razón es importante tomar en cuenta la información de los dos canales.

Como se menciono anteriormente en la sección 2.I, solo en el momento en que los picos de correlación se presenten en todos los canales pueden tomarse como verdaderos, por ello es necesario realizar la multiplicación de los resultados en los canales.



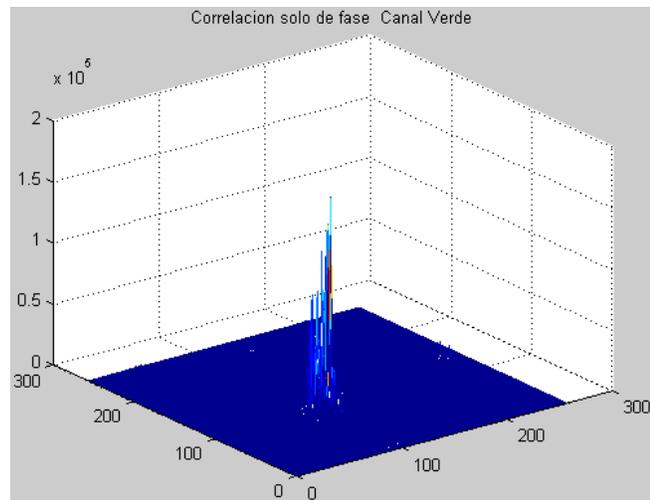
A) Resultados Canal Verde



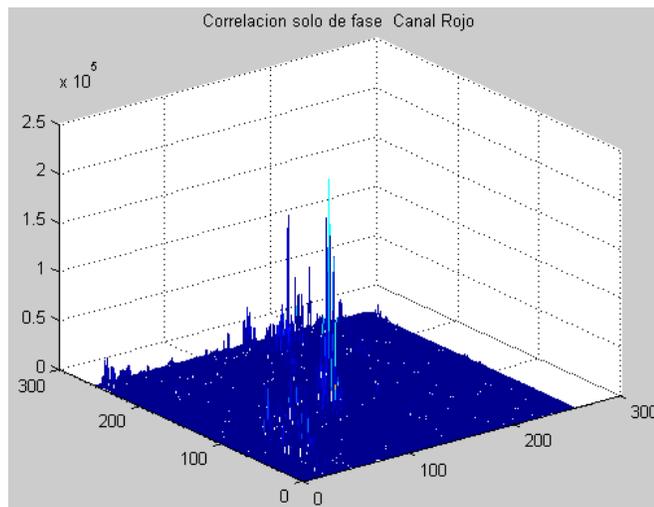
B) Resultados Canal Rojo

**Figura 18. Resultados de Correlación Clásica.**

La figura 19 nos muestra las gráficas para los resultados del método de correlación solo de fase para el canal verde y canal rojo. Se observa como la gráfica de los resultados en el canal verde nos dio un pico de correlación, y al igual que en la correlación clásica en el canal rojo se obtiene un resultado que presenta varios picos. Se puede ver entonces que el canal verde nos proporciona un resultado más detallado que el canal rojo, esto es debido a la naturaleza de las imágenes (figura 17), las cuales muestran imágenes con mas claridad en el canal verde y con menor claridad (más ruido) en el canal rojo.



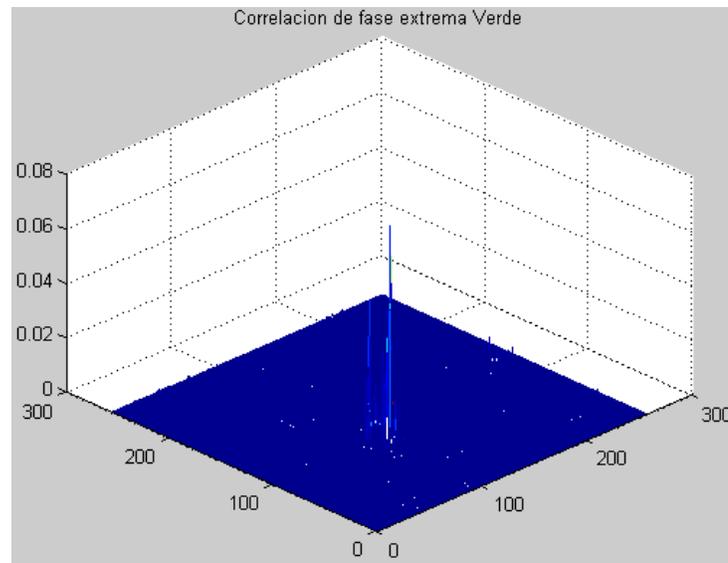
A) Resultados Canal Verde



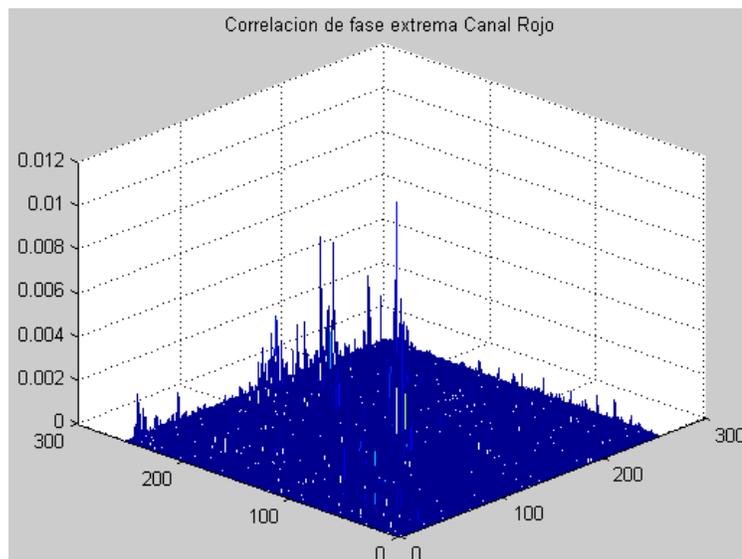
B) Resultados Canal Rojo

**Figura 19. Resultados de Correlación solo de Fase.**

En la figura 20 tenemos las gráficas de los resultados del método de correlación de fase extrema en el canal verde, figura 15A y rojo, figura 15B. Se puede observar que al igual que en los métodos anteriores el canal verde nos da resultados más claros que el canal rojo en el cual aparecen varios picos en la grafica.



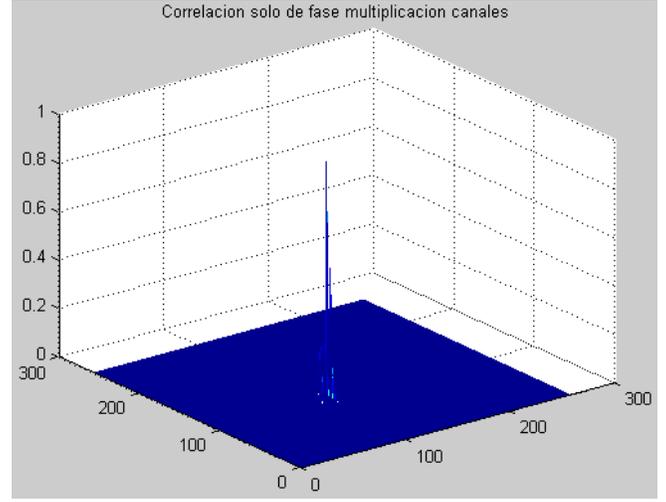
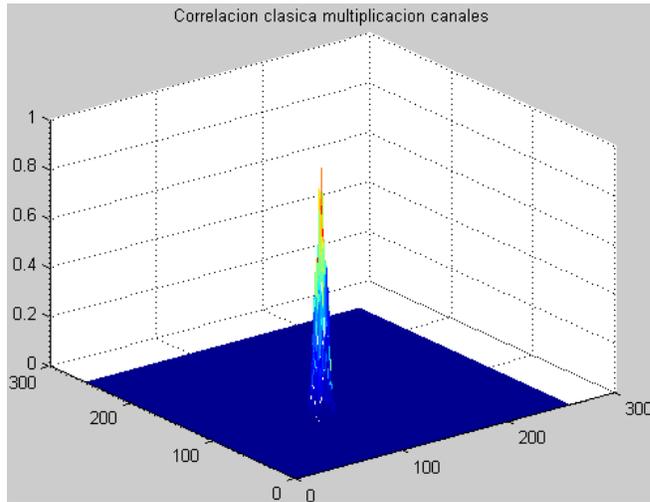
**A) Resultados Canal Verde**



**B) Resultados Canal Rojo**

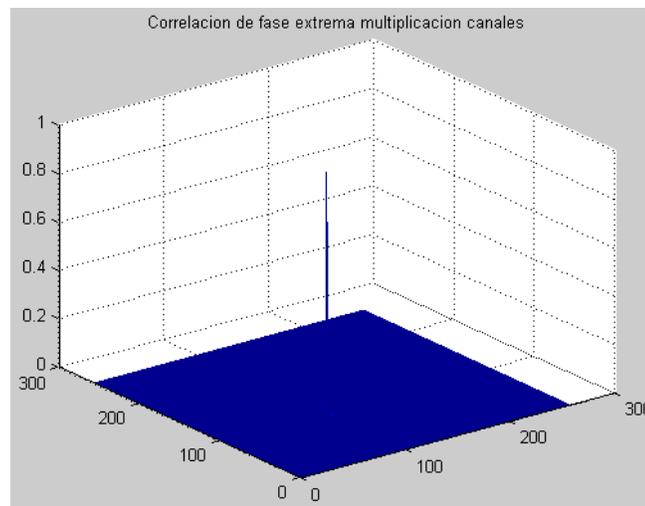
**Figura 20. Resultados de Correlación de fase Extrema.**

### MULTIPLICACIÓN DEL CANAL ROJO Y EL CANAL VERDE.



A) Multiplicación para Correlación Clásica.

B) Multiplicación para Correlación solo de fase.

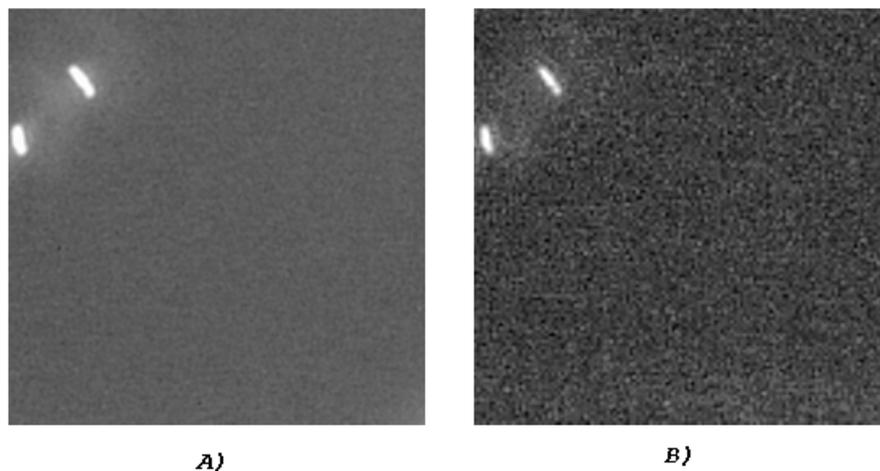


C) Multiplicación para Correlación de Fase Extrema.

**Figura 21: Gráficas para cada método de correlación de la multiplicación de los resultados en los dos canales verde y rojo.**

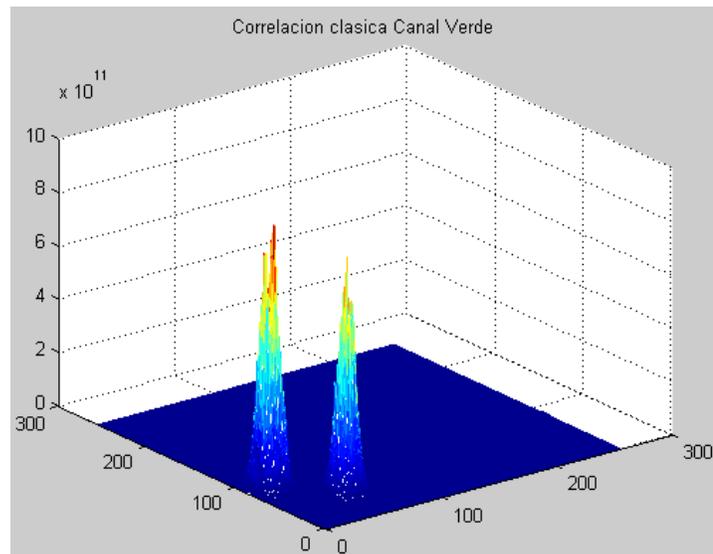
En la gráfica 21 se tiene el resultado de la multiplicación de cada canal para cada uno de los métodos de correlación, obteniendo como resultado final solo un pico de correlación. Este resultado muestra la importancia que tiene la multiplicación de los canales en la obtención del resultado final ya que de esta forma se eliminaron todos aquellos picos extras que se observaban en los resultados en cada canal individualmente, lo que indica que esos picos de correlación eran falsos, manteniéndose hasta el final solo el pico de correlación real en el sitio correspondiente a la presencia del bacilo en la imagen problema, así pues al considerar los dos canales simultáneamente evitamos obtener falsos positivos.

Ahora en la figura 22 tenemos una imagen problema que presenta una problemática diferente a las anteriores al contener mas de una partícula, esta imagen fue sometida a proceso para determinar cual de esas partículas o si las dos corresponden a la bacteria de tuberculosis.

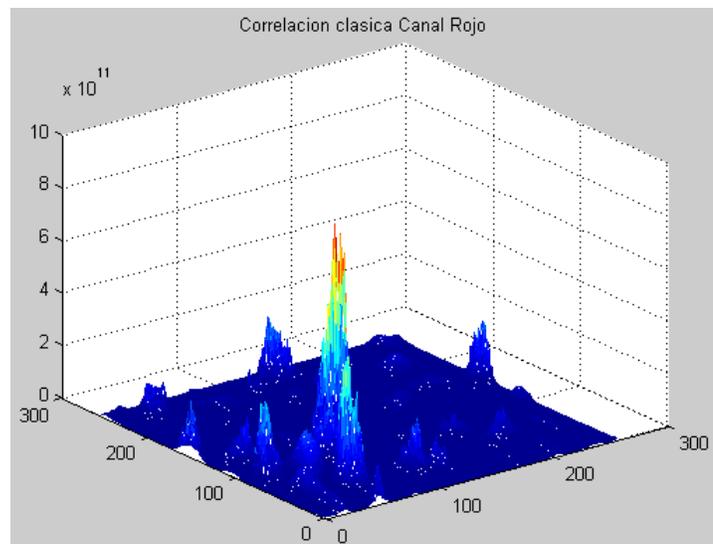


**Figura 22. Imagen problema 4 separada en canales verde A) y Rojo**

En la figura 23 tenemos los resultados del método de correlación clásica. Se observa que al igual que en las anteriores imágenes procesadas, los resultados donde se muestra con mejor claridad los picos de correlación es en el canal verde en el cual se observan solo dos picos de correlación que corresponden a las partículas presentes en la información en dicho canal, lo cual no sucede en el canal rojo.



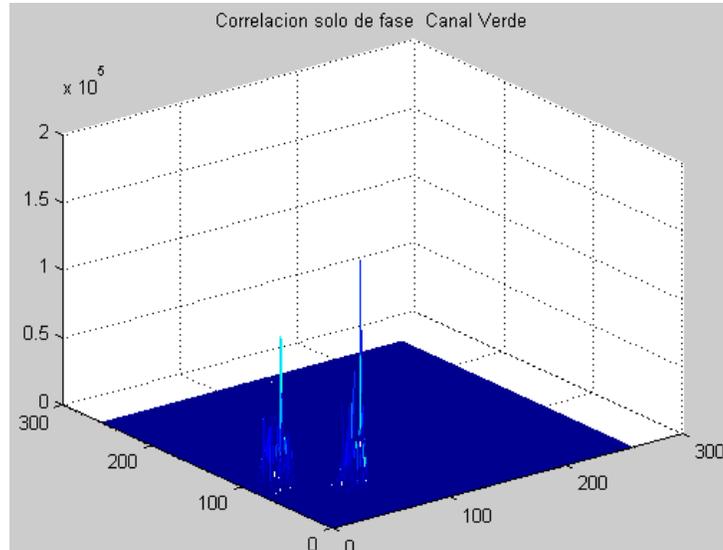
A) Resultados Canal Verde



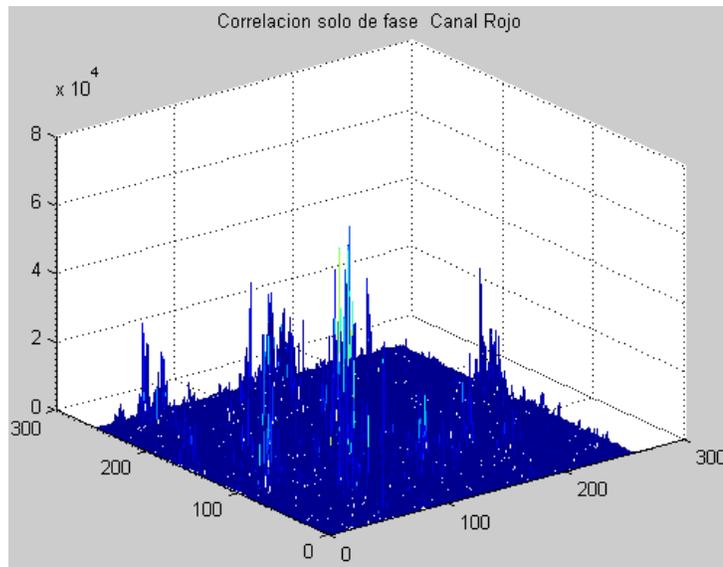
B) Resultados Canal Rojo

**Figura 23. Resultado de Correlación Clásica.**

En la figura 24 se muestran los resultados para el método de correlación solo de fase, igualmente se sigue observando una mayor claridad en los resultados del canal verde con respecto a los resultados del canal rojo el cual muestra más de dos picos, lo cual no corresponderían a las dos partículas presentes en la imagen problema.



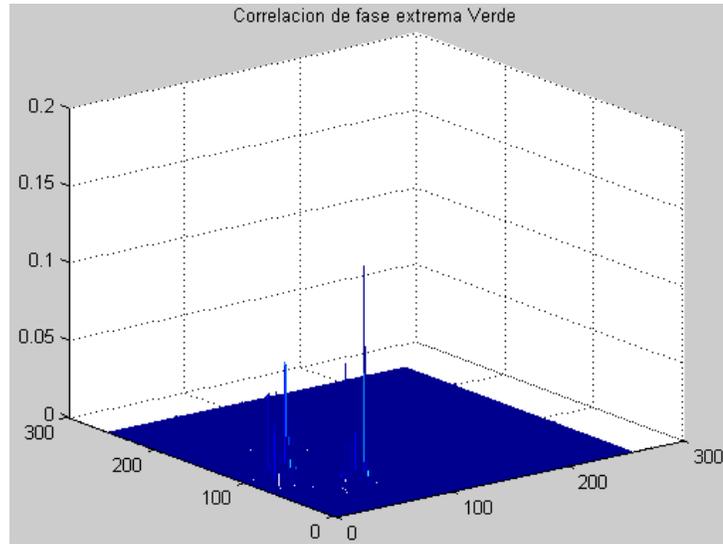
A) Resultados Canal Verde



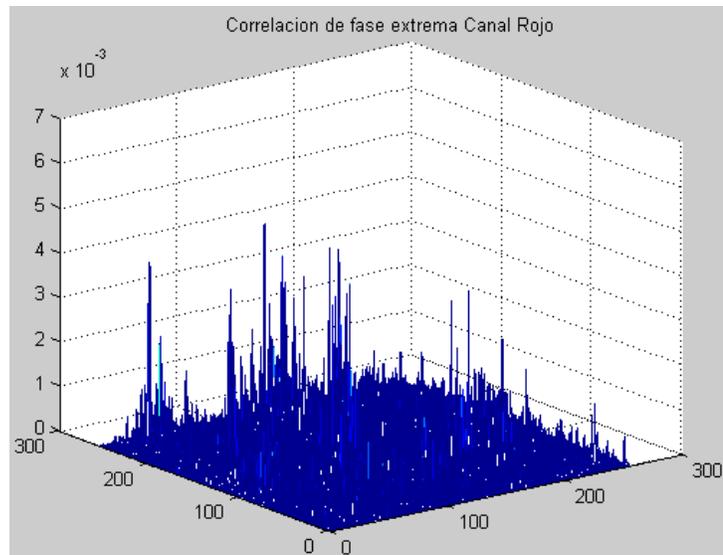
B) Resultados Canal Rojo

Figura 24. Resultado de Correlación solo de fase.

En la figura 25 están los resultados del método de correlación de fase extrema. Donde se observan varios picos de correlación debido a basura presente en la imagen problema, sobre todo en el canal rojo.



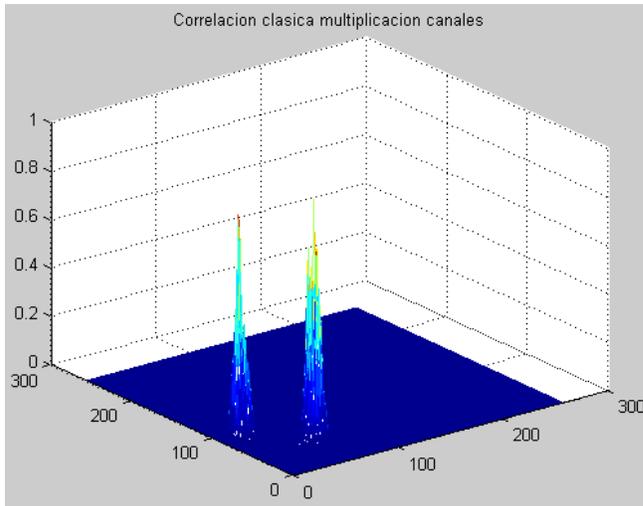
A) Resultados Canal Verde



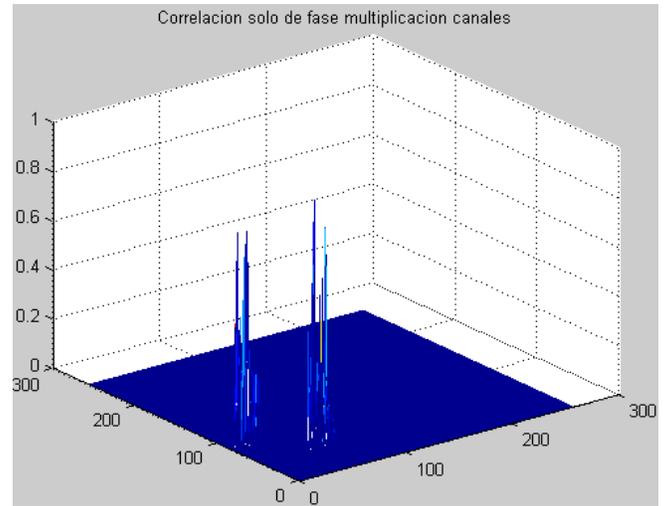
B) Resultados Canal Rojo

**Figura 25. Resultado de Correlación de fase extrema.**

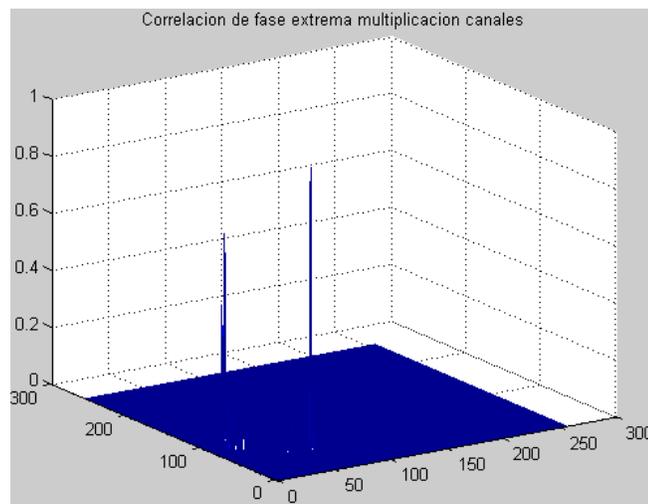
## MULTIPLICACIÓN DEL CANAL ROJO Y EL CANAL VERDE.



A) Multiplicación para Correlación Clásica.



B) Multiplicación para Correlación solo de fase



C) Multiplicación para Correlación de Fase Extrema.

**Figura 26: Gráficas para cada método de correlación de la multiplicación de los resultados en los dos canales verde y rojo.**

En la figura 26 tenemos el resultado final, en el cual se observa claramente que ya no aparece todos los picos falsos que se observan en las correlaciones en cada canal, los cuales fueron cancelados con la multiplicación, así mismo observamos dos picos de correlación lo cual nos indica que las dos partículas presentes en la imagen problema corresponden al bacilo *Mycobacterium tuberculosis*, ello a pesar de que los dos bacilos se encuentran orientados y en lugares diferentes dentro de la imagen problema así como presentan una morfología diferente entre ellos. De esta forma se obtuvo una detección positiva.

Todos estos resultados fueron obtenidos utilizando como filtro un banco de imágenes de diferentes morfologías del bacilo *Mycobacterium tuberculosis*.

## CAPITULO 4.

### "CONCLUSIONES"

De acuerdo a los objetivos generales y particulares establecidos en este trabajo y al análisis de los resultados presentados anteriormente, se concluye que las técnicas empleadas, las cuales consistieron en la correlación entre imágenes problema con un banco de imágenes mediante el método de correlación clásica, método de correlación solo de fase y método de correlación de fase extrema, nos brindan los resultados esperados, esto es, estas técnicas son capaces de hacer una discriminación de acuerdo a la hipótesis planteada, cumpliendo así con el objetivo general de identificar adecuadamente el bacilo de la bacteria *Mycobacterium tuberculosis* en muestras de esputo. Asimismo, la utilización de un banco de imágenes como filtro, probó ser eficaz en la identificación de organismos independientemente de su morfología, esto es, una identificación independientemente de su escala, así como de rotación y ubicación dentro de la imagen problema, factores que son importantes para permitir una detección automatizada.

Basado en los resultados, se concluyó también que de los tres métodos de correlación implementados, el método de correlación que mostró mas sensibilidad en su capacidad discriminatoria fue el método de correlación de fase extrema, el cual mostraba con claridad picos de correlación mas finos, esto debido a la utilización solo de la información de fase de la Transformada de Fourier tanto en la imagen problema como del banco de imágenes utilizado como filtro.

En segundo lugar en su capacidad de discriminar es el método de correlación solo de fase, quien a pesar de mostrar resultados superiores a los de la correlación clásica no tiene la sensibilidad de la correlación de fase extrema.

El método de correlación clásica como ya se mencionó, fue el método con menor sensibilidad discriminatoria de los tres empleados, así mismo, al involucrar toda la información tanto de la de la fase como la magnitud de la Transformada de Fourier en el proceso requiere un mayor tiempo de computo, sin embargo, a pesar de ello, fue eficaz en la detección de la bacteria, a pesar de que los picos de correlación resultantes no eran tan detallados.

Este trabajo es un estudio preliminar que nos brinda información importante acerca del uso de la técnica de correlación en la detección de tuberculosis, técnica que muestra tener mucho potencial para posteriormente poder tener un sistema completamente automatizado de detección a bajo costo que pueda ser utilizado en un laboratorio, el cual permitirá atacar de manera más eficaz esta enfermedad la cual es una de las mas importantes en México y en el mundo.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

1. Abdul, Ahad K; A. H. Lichtman. *Inmunología Celular y Molecular*. 1999.
2. Abdul, Ahad S. A.; Mohammed A. Karim y Syeda R. Jahan. Improved Correlation discrimination using an amplitude modulated phase-only filter. *Applied Optics*, Vol. 29. 1990.
3. Álvarez Borrego, J; R. Mouriño Perez, y J. L. Pech Pacheco. Invariant Optical Correlation for recognition of *Vibro Cholerae 01*. Conferencia Internacional sobre Pattern Recognition, Vol. 2847, Pág. 283-286, Barcelona España, 2000.
4. Beltrán, R. Procesamiento de señales para el mejoramiento digital de imágenes. Tesis de Maestría. CICESE, Ensenada B. C. México. 1991.
5. Carpenter, Philip L. *Microbiología*. Segunda Edición. Ed. Nueva Editorial Interamericana. 1969.
6. Díaz Ramírez, V. H. Métodos opto-digitales adaptivos para el reconocimiento de patrones en tiempo real. Tesis de Doctorado. CICESE, Ensenada B. C. México. 2007.
7. Healey, Peter. *Microscopios y vida microscópica*. Ed. Bruguera. 1969.

8. Horner, J. L. y P. D. Gianino. Phase-Only matched filtering. *Applied Optics*, Vol. 23. 1984.
9. Kumar, B. V. Tutorial Survey of Composite filter design for optical correlators. *Applied Optics*, Vol. 31. 1992.
10. Kumar, B. V. K. V.; A. Mahalanobis y R. D. Juday. Correlation pattern recognition. Cambridge University press. 2005.
11. Kumar, B. V. y L. Hassebrook. Performance measures of correlation filters. *Applied Optics*, Vol. 29.1989.
12. Millan, M; Juan Campos, Carlos Ferreira y María J. Yzuel. Matched Filter and phase-only filter performance in color image recognition. North-Holland Physics Publishing Division. 1989.
13. Organización Mundial de la Salud. Fact Sheet No. 104. 2002.
14. Organización Mundial de la Salud. Global Tuberculosis Control Surveillance, Planing, Financing. Ginebra Suiza, 2002.
15. Organización Mundial de la Salud. Strategic Framework to decrease the burden of TB/HIV. Ginebra Suiza, 2002.
16. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Estrategia regional pare el control de la Tuberculosis para 2005-2015. 46 Sesión del Comité Directivo. 2005.

17. Pech Pacheco, J. L. Procesado óptico-digital de cinco especies de fitoplancton del genero *Ceratium*. Tesis de Maestría. UABC, Ensenada B. C. México. 1995.
18. Pech Pacheco, J. L.; J. Álvarez Borrego y Gabriel Cristobal Matthias S. Keil. Automatic object identification irrespective of geometric changes. *Optical Engineering*, Vol. 42. 2003.
19. Pelczar, M. J. y Reid, R. D. Microbiología. Segunda Edición. Ed. Mc. Graww Hill. 1966.
20. Rosenfeld, Azriel y Avinash C. Kak. Digital Picture Processing. Ed. Werner Reinboldt.
21. Russ, John C. The Image Processing Handbook. Ed. CCR Press.
22. Veropoulos, K.; G. Learmonth, B. Knight, y J. Simpson. Automated Identification of Tubercle Bacili in Sputum. *Analitical and Quantitative Cytology and Histology*, 1999.
23. Wilkinson, M. H. F. Rapid Automatic Segmentation of fluorescent and phase-contrast images of bacteria. In J. Slavik, editor, *Fluorescence Microscopy and Fluorecsence Probes*. Plenum Press, New York, Ny 1996.
24. Wood, Jefrey. Invariant pattern Recognition: A review. *Pattern Recognition*, Vol. 29. 1996.