



UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

**Procesamiento digital de imágenes
para el reconocimiento automático
de constelaciones de modulaciones
digitales**

Juan Fernando Gaviria Hernández

Universidad de Medellín
Facultad de Ingenierías
Medellín, Colombia
2014

Procesamiento digital de imágenes para el reconocimiento automático de constelaciones de modulaciones digitales

Juan Fernando Gaviria Hernández

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero de Telecomunicaciones

Director:
Ing. Andrés Quintero Zea

Universidad de Medellín
Facultad de Ingenierías
Medellín, Colombia

2014

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Nombre:

Firma del jurado

Nombre:

Firma del jurado

Nombre:

25 de noviembre de 2014

Pedes in terra ad sidera visus

Agradecimientos

Solo tengo a una persona, una quien me apoyo en cada paso, una quien siempre estuvo ahí así fuera en silencio, a la espera de que todo saliera bien ya que más que un logro mío es de ella, a quien dedico lo poco que he logrado, a quien debo todo lo que tengo y a quien le agradezco todo lo que soy. Mamá...

Contenido

Introducción	1
1. Situación actual	3
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Origen del trabajo	3
1.3. Antecedentes	3
1.4. Tema del proyecto	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Generales	4
1.5.2. Específicos	5
1.6. Justificación	5
1.6.1. Teórica	5
1.6.2. Práctica	5
2. Diseño Metodológico	7
2.1. Método Deductivo	7
2.2. Tipo de investigación	7
2.3. Nivel de la investigación	8
2.4. Fuentes	8
2.4.1. Primaria	8
2.4.2. Secundaria	8
3. Planeación	9
3.1. Equipo humano	9
3.2. Recursos técnicos y tecnológicos	9
4. Conceptos Generales	11
4.1. La luz	11
4.1.1. Concepto	11
4.1.2. Naturaleza	11
4.1.3. Espectro Electromagnético	11
4.2. Imagen Digital	13
4.2.1. Su origen y formación	13
4.2.2. Resolución de una imagen	13
4.2.3. Espacios de color	14
4.2.3.1. Color	14

Contenido

4.2.3.2. Intensidad o Escala de Grises	17
4.2.3.3. Imagen Binaria	18
5. Temáticas desarrolladas	19
5.1. Digitalización	19
5.2. Imagen de intensidad	20
5.3. Imagen binaria y el Método de Otsu	21
5.4. Morfología Matemática de la imagen	23
5.4.1. Dilatación	23
5.4.2. Erosión	24
5.4.3. Apertura	25
5.4.4. Cierre	25
5.5. Etiquetado de regiones en la imagen	26
5.5.1. <i>Flood Filling</i>	27
5.5.2. <i>Secuencial Region Labeling</i>	28
6. Resultados	29
6.1. Preprocesamiento de la imagen	30
6.2. Categorización de las constelaciones	34
7. Clasificaciones	37
Conclusiones	39
A. Códigos	41
A.1. Método de Otsu - Función de binarización	41
A.2. Conversión de color a Intensidades por niveles de colores	42
A.3. Conversión de color a Intensidades por promedio de capas	43
A.4. Conversión de color a Intensidades por niveles de luz	43
A.5. Centroides	44
A.6. Caracterización de las Constelaciones	45
Bibliografía	47

Lista de Tablas

6-1. Tabla de tiempos de ejecución	35
--	----

Lista de Figuras

4-1. Espectro electromagnético	12
4-2. Imagen de Lena Soderberg, Revista THE CENTERFOLD, 1972 - Dominio público	14
4-3. Capas de una imagen RGB	15
4-4. Estructura de un pixel en RGB	15
4-5. Dimensión RGB	16
4-6. Gama de colores de CMYK	16
4-7. Espacio de color de HSV	17
4-8. Gradiente de grises de 8 bits	18
5-1. Imagen digital a color	19
5-2. Imagen en escala de grises	21
5-3. Imagen binarizada con el método de Otsu	22
5-4. Dilatación de una imagen binaria	23
5-5. Erosión de una imagen binaria	24
5-6. Resultado de la apertura	25
5-7. Resultado del cierre	26
5-8. Imagen binaria con regiones	26
5-9. Reconocimiento de las regiones de la imagen binaria	27
6-1. Constelaciones QAM	30
6-2. Imágenes de intensidad	31
6-3. Imágenes binarias de las constelaciones QAM	32
6-4. Regiones diferenciadas con su respectivo centroide QAM	33
6-5. Constelaciones de prueba	34
6-6. Distancias de los centroides	35
6-7. Mensajes de categorización	35

Glosario

Procesamiento Digital de Imágenes: Es el conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información.

Constelaciones Digitales: Es un método de representación en el plano complejo de los estados de símbolo en términos de amplitud y fase en los esquemas de modulación digital, tales como QAM o PSK

Ruido: Datos sin significado, generados simplemente como subproductos no deseados de otras actividades.

Modulación: Es el conjunto de técnicas que se usan para transportar información, permitiendo un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias.

Resumen

El presente trabajo presenta una aplicación de los temas sobre el procesamiento digital de imágenes desde el campo de las telecomunicaciones, con el fin de poder categorizar las modulaciones digitales desde las constelaciones que estas tienen. De una manera más investigativa y argumentativa se hace un zoom a cada uno de los pasos por los que pasa una imagen para poder abstraer su información.

Palabras clave: Constelaciones, Modulaciones, Procesamiento Digital de Imágenes.

Introducción

Los diagramas de constelaciones son representaciones de esquemas de modulaciones digitales en el plano complejo de la información transmitida en una banda de base digital, lo que permite que se transmita mayor información de manera simultánea. Existen varias clases de modulaciones, entre ellas se encuentran la Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM por sus siglas en inglés), transporta datos por medio de la modulación de la señal portadora (onda generalmente senoidal) tanto en amplitud como en fase y la Modulación por Desplazamiento en Fase (PSK por sus siglas en inglés), varía la fase de la señal portadora entre un determinado número de valores discretos. Ambas modulaciones expresan varios niveles de cuantización (2-4-8-16-32-64) de intercambio de información en bits. De acuerdo a la representación dada puede analizarse la calidad, velocidad o problemas generados en el sistema, factores de vital importancia para una comunicación adecuada entre dos o más sistemas. [1, 2, 3]

En la actualidad los sistemas de comunicación detectan solo un nivel de intercambio de información en bits, ya sea de QAM o PSK para poder tener un proceso que marche correctamente, dicho nivel no puede ser cambiado ya que esto implica hacer cambios físicos en el sistema, siendo el nivel configurado inicialmente con el único que trabaja.

Los problemas existentes en la comunicación se deben a la falta de una herramienta (sistema) integral que detecte los diversos niveles y sea capaz de cambiar su estado actual para lograr la comunicación con varios niveles de comunicación de una o más modulaciones digitales y de esta forma no sea tan limitado. El Procesamiento Digital de Señales (PDS) es un área de la ciencia para el tratamiento de secuencias ya que permite el reconocimiento y la comprensión de señales. Adicionalmente, ofrece facilidad de implementación de sistemas, facilidad de cambio de los sistemas, inmunidad a problemas físicos de los componentes y mayor facilidad y precisión en el almacenamiento y recuperación de las señales. Un sistema digital funciona en toda su vida útil exactamente de la misma manera, siendo esta la característica más relevante.[4]

El procesamiento digital de imágenes (PDI) es un campo de PDS, técnica útil que se basa en la manipulación y análisis de imágenes o representaciones ya sea real o generado por un sistema en específico, con el objetivo de mejorar o identificar la mayor cantidad de información de estas para su interpretación y análisis.

Puede ser considerado como un procesamiento en dos dimensiones. Una vez la imagen pasa por estas fases del procesamiento, va seguido de la identificación de las propieda-

Lista de Figuras

des en la imagen que tienen un significado físico. Con el PDI es posible obtener más información de una comunicación, como los niveles de intercambio, caso contrario que sucede con los equipos actuales, lo que hace que esta sea una técnica robusta.

El objetivo de este trabajo es detectar por medio de procesamiento digital de imágenes las diferentes representaciones de un esquema de modulación digital para mostrar que es posible realizar una comunicación entre los diversos patrones y de este modo poder implementarlo a futuro para lograr optimizar los sistemas y alcanzar mayor eficiencia.

La herramienta usada en el tratamiento digital de las imágenes son las matemáticas, toda esta información es obtenida por medio de procesos que han sido estandarizados y condensados en comandos propios de los lenguajes de programación.

El presente informe se encuentra organizado de la siguiente manera: en el capítulo 1 se presentan los antecedentes del problema, que llevaron a formular el presente trabajo; el capítulo 2 muestra el diseño metodológico y el capítulo 3 la planeación del proyecto; en el capítulo 4 se presentan conceptos generales sobre imágenes digitales; el capítulo 5 presenta las técnicas de PDI usadas y en el capítulo 6 se presentan los resultados obtenidos. Finalmente se presentan conclusiones del trabajo y se anexan los códigos utilizados en el desarrollo del proyecto.

1. Situación actual

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad cada dispositivo de comunicación digital tiene un solo sistema de demodulación por el cual puede interpretar la información y no se le es posible poder analizar otros mensajes en modulaciones diferentes a la que se encuentra configurado.

De ahí la importancia de poder tener un software que pueda detectar cada una de las modulaciones digitales para permitir que un sistema pueda tener interoperabilidad en sus modulaciones y sea más flexible y adaptable al ambiente de trabajo.

1.2. Origen del trabajo

El presente trabajo de grado surge como producto de estudios en el análisis y procesamiento digital de señales y comunicaciones digitales. Estos crearon la necesidad de indagar más sobre los diferentes procesos que se aplican a una señal para trasformarla en información con la cual se pueda obtener una función útil. En este caso se decidió trabajar con un tema que permea varios campos de la ingeniería de telecomunicaciones como lo es el procesamiento digital de imágenes aplicado a las comunicaciones digitales

1.3. Antecedentes

Con el desarrollo de las comunicaciones a través de los años, el tratamiento de señales fue haciéndose necesario para poder indagar más en cada una de las formas del cómo transmitir una información en el medio. Así con la idea clara de trasformar necesariamente la información sea voz, imágenes o texto, en una señal eléctrica, cuando la transmisión se hace por medios metálicos o por radiopropagación, o lumínica si esta se hace con el uso de fibra óptica.

Estas señales son tratadas por medio de procesos matemáticos que buscan modificarlas o mejorarlas para poder trabajar con las representaciones de la información que en

1. Situación actual

ellas se encuentra contenida, sea para hacer transmisión o poder abstraer datos útiles para un sistema que lo necesite.

Con el Procesamiento Digital de Señales (PDS) se abrieron campos en los cuales se trabajan áreas de acuerdo a las fuentes de información o el enfoque en zona de desarrollo que se quiera trabajar, expandiendo así el campo de acción del PDS casi en todos los aspectos de la vida diaria. Estos procesos han sido categorizados y estandarizados por medio de software y hardware de manera clara en los tratamientos de sonido, voz, imágenes, video y datos, haciendo que los esfuerzos para el desarrollo o solución de un problema que en estas áreas se presenten, sean más enfocados y se pueda tener un control más claro de lo que se quiere trabajar.

Uno de los campos que se ha investigado y explotado desde hace más de medio siglo y que ha permeado cada uno de los círculos de las personas, de manera directa o indirecta, es el Procesamiento Digital de Imágenes. Por medio de este se han logrado hacer desarrollos a nivel médico en la telemedicina, tratando y haciendo exámenes con información a distancia de pacientes con escasas posibilidades de movilizarse hasta un centro médico; el reconocimiento facial [5, 6], detección de placas [7, 8], detección de movimientos [9] entre otros aspectos en el campo de la seguridad y la comunicación. En sus comienzos fue un trabajo que tomaba tiempo e inversiones grandes de dinero, pero con el tiempo, gracias al desarrollo de sistemas de computación menos costosos y a los avances e investigaciones que se dieron en este campo, la tecnología fue cada vez más asequible a las personas que con sus conocimientos pudieron llegar a contribuir a lo que hoy se conoce.

1.4. Tema del proyecto

Para este trabajo se tiene como fin el estudio e implementación de diferentes técnicas de procesamiento de imágenes presentados en textos de carácter académico y artículos de publicaciones científicas, aplicados al reconocimiento de las constelaciones de diferentes modulaciones digitales.

1.5. Objetivos

1.5.1. Generales

Proponer un sistema de procesamiento digital que permita identificar las modulaciones digitales con base en las imágenes de las constelaciones.

1.5.2. Específicos

- Comprender las metodologías y herramientas utilizadas en el procesamiento digital de imágenes.
- Seleccionar las constelaciones de las modulaciones digitales que se van a trabajar.
- Definir un procedimiento de procesamiento de imágenes para las constelaciones digitales.
- Sugerir un método de clasificación de las constelaciones.
- Desarrollar un aplicativo software para apoyar los procesos de procesamiento de imágenes y clasificaciones de las constelaciones.

1.6. Justificación

1.6.1. Teórica

En el proceso de adquisición de nuevos conocimientos se parte de supuestos o informaciones de base que poco a poco se interiorizan y abren paso a nuevas preocupaciones y cuestionamientos sobre el tema y sobre necesidades que puedan llegar a sentirse al respecto. Es por lo anterior que el conocimiento avanza y lo hace progresivamente, y cada vez estos supuestos son más complejos, con más información de trasfondo, haciendo que el poder avanzar y comprender bien el por qué sea más difícil, por la cantidad de conocimiento que se encuentra de trasfondo en algún punto en particular.

Es así que se hace necesario poder conocer cuáles son esos procesos que se han dejado como supuestos y que en algún momento de la historia en el campo de conocimiento hicieron parte de las temáticas a tratar y permitiendo así generar bases más sólidas, creando nuevas percepciones y dando paso a nuevas inquietudes sobre el campo del Procesamiento Digital de Señales.

1.6.2. Práctica

El hecho de desarrollar y hacer el proceso de investigación de todos estos conceptos sobre este tema, y de igual manera proceder a hacer la implementación de los mismos va poco a poco generando cierta versatilidad y maleabilidad al momento de pensar y actuar de acuerdo a los problemas o puntos de ataque a la solución de estos.

1. Situación actual

En un entorno como MATLAB, en el que las herramientas pueden surgir desde cualquier parte como apoyo a los procesos que el usuario se plantee, ya que al ser un entorno matemático y toda la información, datos y estructuras allí presentes pueden ser tratadas como tal facilitando el uso de funciones en otros campos del conocimiento.

Por todo esto se logra concebir un pensamiento ágil bien formado y maleable que genera una percepción totalmente diferente y más amplia de los problemas o los cuestionamientos del estudio en el que se esté trabajando.

2. Diseño Metodológico

2.1. Método Deductivo

El proceso con el cual se hizo el planteamiento del presente trabajo de grado se hace partiendo de las experiencias y los temas tratados durante los cursos de Procesamiento Digital De Señales y Análisis de Señales y Sistemas, en los cuales de manera progresiva se plantearon trabajos enfocados en el Procesamiento Digital de Imágenes, en los que inicialmente se dieron soluciones a nivel matemático y migrando a herramientas de alto dominio de datos de manera inteligente. En todo este proceso siempre hubo una constante, ya que las herramientas y el mayor trabajo siempre se realizó en los pasos finales de la identificación, pero el tratamiento de la imagen y todo el proceso inicial se dio por sentado gracias al uso de comandos y herramientas de alta complejidad con los cuales se puede obtener una gran cantidad de información con un conocimiento simple del entorno de programación.

Todos estos procesos por los cuales se trata de manera preliminar la imagen son el punto de partida para la búsqueda y la interpretación de todo lo que va por debajo de lo que antes se suponía, se esperaba y se lograba obtener en el entorno de desarrollo.

Cada uno de estos pasos fueron buscados desde su producto a su generación o raíz, conociendo así los algoritmos y teoría con la cual se logró avanzar en los procesos de automatización en el procesamiento digital de imágenes.

2.2. Tipo de investigación

Teniendo en cuenta todo el trasfondo a nivel teórico e investigativo se podría tener una perspectiva analítica sobre todos los procesos e investigaciones, el presente se proyecta más hacia un documento más aplicado y con información trabajada y llevada a un entorno de programación o lenguaje en el cual se interpretan cada uno de los procesos y conceptos base.

2.3. Nivel de la investigación

El alcance del presente trabajo de grado es lograr, a través de la investigación y la sustentación teórica de algoritmos y procedimientos del tratamiento digital de imágenes, generar un conjunto de códigos, con el fin de poder ver paso a paso los procesos por los cuales las imágenes son tratadas para así abstraer la información allí contenida, que de cierta manera con las herramientas que se presentan en el entorno de programación MATLAB, no se pueden apreciar.

2.4. Fuentes

2.4.1. Primaria

Para el desarrollo del trabajo se tuvo como base dos fuentes esenciales de las cuales se nutría en ambos sentidos, una de ellas mi director de trabajo de grado, Andrés Quintero Zea, quien con su conocimiento y bagaje en el campo del Procesamiento Digital de Imágenes guió los procesos y pruebas que se iban desarrollando a medida que nuevas inquietudes e inconvenientes iban surgiendo.

La segunda fuente que representó gran cantidad del conocimiento teórico encontrado y desarrollado como código para la construcción final del procesamiento y reconocimiento de imágenes fue el libro *Digital Image Processing* de Wilhelm Burge y Mark James Burge [10], en donde se da una representación algorítmica de los procesos y una implementación de los mismos en el lenguaje Java, además de una rica información teórica y descriptiva de la teoría de la imagen y todo su desarrollo.

2.4.2. Secundaria

A nivel de apoyo de todo lo que se iba trabajando se tenían libros como el de González [11] de Procesamiento Digital de Imágenes, e información que se iba encontrando a medida que se trataba de expandir los conceptos o ejemplificar la teoría que se había logrado compilar de acuerdo al proceso anterior.

3. Planeación

3.1. Equipo humano

Como personal que hizo parte del desarrollo del presente trabajo de grado se tiene a las siguientes personas:

Director de Trabajo de Grado: Andrés Quintero Zea

Asesora Metodológica: Virginia Lopez de Roll

Aspirante - Ingeniero de Telecomunicaciones: Juan Fernando Gaviria Hernández

3.2. Recursos técnicos y tecnológicos

Como materiales, equipo, programas o elementos necesarios para llevar a cabo la investigación y puesta en funcionamiento del trabajo de grado presentes son las siguientes:

MATLAB: Entorno de programación en donde se desarrolló todo el trabajo práctico: algoritmos, exportación y generación de las imágenes. Es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M).

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

L^AT_EX: es un sistema de composición de textos, orientado especialmente a la creación de libros, documentos científicos y técnicos que contengan fórmulas matemáticas.

Laptop: Computador portatil acer, Core i5, 6GB

4. Conceptos Generales

4.1. La luz

4.1.1. Concepto

La luz es la parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano, esta se encuentra definida dentro del espectro electromagnético como una pequeña franja que va desde los 350 nm a los 780 nm, los rangos superiores o inferiores a estos dos límites son totalmente imperceptibles sin la ayuda de dispositivos que conviertan dichas radiaciones en representaciones simbólicas para el ojo, dentro de ellas se encuentran los infrarojos, superiores a los 780 nm y los ultravioleta, por debajo de los 350 nm [12].

4.1.2. Naturaleza

La luz se encuentra definida como un elemento dual. Inicialmente en el siglo XVII, Christian Huygens planteó que el modo de propagación era ondulatorio, llevando así a Thomas Young a comienzos del siglo XIX a demostrar dicha característica ondulatoria de la luz, retomando los estudios de Huygens y dando las cualidades de difracción, interferencia y polarización como a una onda electromagnética.

Posterior a estos sucesos entre finales del siglo XVII y principios del siglo XVIII, Isaac Newton demuestra un concepto adicional a la luz, dando así nuevas propiedades a la luz que permitieron ampliar su concepto y la manera en cómo interactúa con la materia.

4.1.3. Espectro Electromagnético

La energía radiada, de la cual la luz hace parte, es representada como un conjunto de frecuencias relacionadas con cuerpos y propiedades físicas que han sido propicias para su uso y aplicación en temas específicos en las áreas tecnológicas. En este se encuentran las energías radiadas desde la de menor longitud de onda o mayor frecuencia a la de mayor

4. Conceptos Generales

longitud de onda o menor frecuencia, entendiéndose como longitud de onda la distancia en múltiplos de metro, m, recorrida en un ciclo de onda por segundo y la frecuencia la cantidad de ciclos por segundo que dicha onda realiza, medida en hertz Hz.

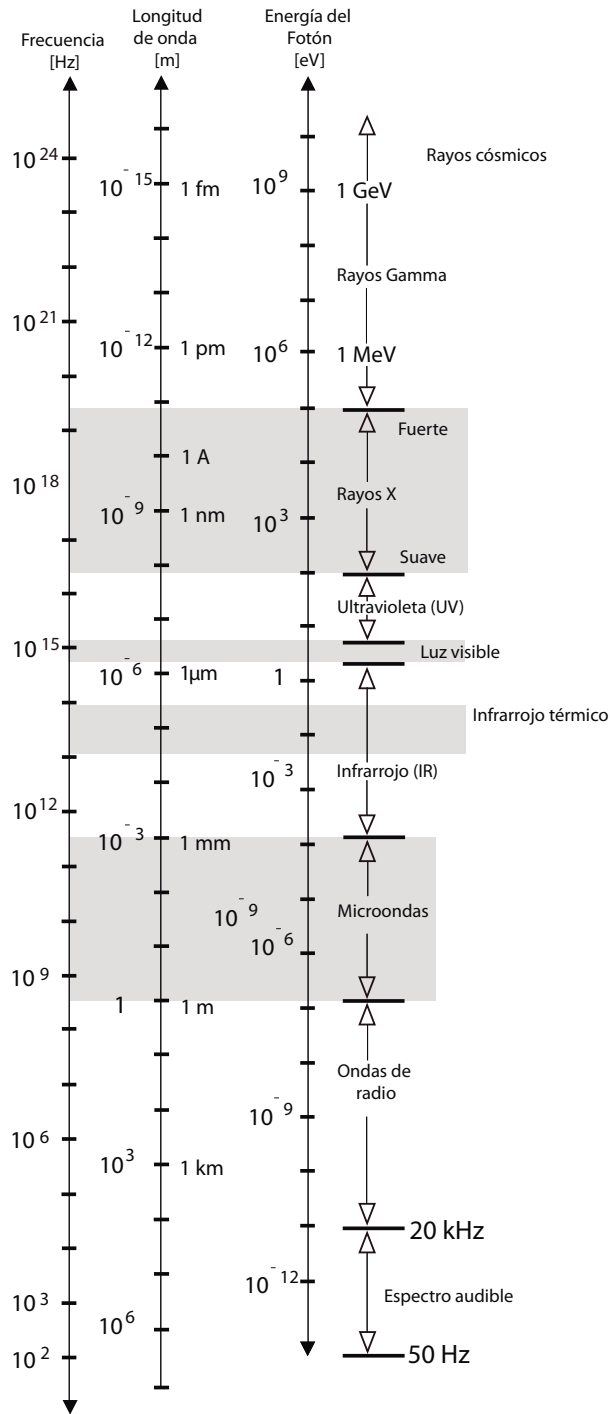


Figura 4-1. Espectro electromagnético

4.2. Imagen Digital

4.2.1. Su origen y formación

Una imagen digital, como en su nombre se hace referencia, es una representación o figura que se aproxima de buena manera a una imagen real. Esto se hace en un elemento de dos dimensiones en donde, con la relación de intensidades en diferentes capas de color se consolida dicha imagen digital. En este espacio bidimensional, $I(x, y)$ el rango de dichas variables son valores ligados directamente a la cantidad de energía radiada y que es captada por una fuente de imágenes. Como esta energía siempre es positiva dichas cantidades en el espacio de la imagen serán siempre positivas o iguales a cero.

Dentro de la energía captada por la fuente de imágenes se encuentran las ondas que son reflejadas por el objeto al momento en el que la luz incide sobre él, es de esta manera que son percibidos los colores o tonos dentro de una imagen, ya que si es posible ver uno de los colores que componen el objeto, las ondas restantes fueron absorbidas por el mismo. Dependiendo de la calidad o la tipología de la fuente de imágenes algunas ondas radiadas pueden ser interpretadas y llevadas como representación en un campo visible, como lo son los infrarrojos, los rayos ultravioleta, entre otros.

La imagen que es generada por un dispositivo es simplemente una representación de lo que realmente se tiene, gracias a la calidad de los lentes y demás elementos esta brecha entre la realidad y lo virtual es mínima aunque siempre hay una pérdida de información en este proceso debido a la cuantificación y a la aproximación de dicha información de una manera virtual, en el dominio de la imagen o la constancia del color de la misma.

En el campo de la imagen digital se encuentran algunas ideas o normas que han sido plasmadas. Al momento de hablar de imágenes nos encontramos en un campo vectorial bidimensional esta matriz tiene unas dimensiones $M \times N$, en donde cada uno de los puntos (conocidos píxeles) que conforman esta matriz son los valores cuantificados de la imagen real tomada por la fuente de imágenes.

4.2.2. Resolución de una imagen

Una imagen digital, como se indicó anteriormente, está basada en una estructura matricial que representa una aproximación de la imagen real tomada por la fuente de imágenes. A nivel tecnológico los tamaños de estas imágenes digitales ha dependido de los equipos que hacen esa captura de datos. La calidad de dichos fotogramas o la calidad de las figuras u objetos representados en él ha ido creciendo, teniendo cada vez la posibilidad de obtener datos mucho más detallados de la fuente de información, lo que

4. Conceptos Generales

se traduce en un tamaño más grande de la imagen y por transitividad mayor cantidad de píxeles (del inglés *pixel picture element*) por lo que el tamaño de la matriz $M \times N$ será mayor. Esto claramente se puede apreciar en que la imagen guarda la misma calidad de información, pero al mostrarla en la misma escala, se nota claramente la pérdida de datos del objeto en la imagen. En la Figura 4-2 se muestra una misma imagen con diferentes resoluciones.

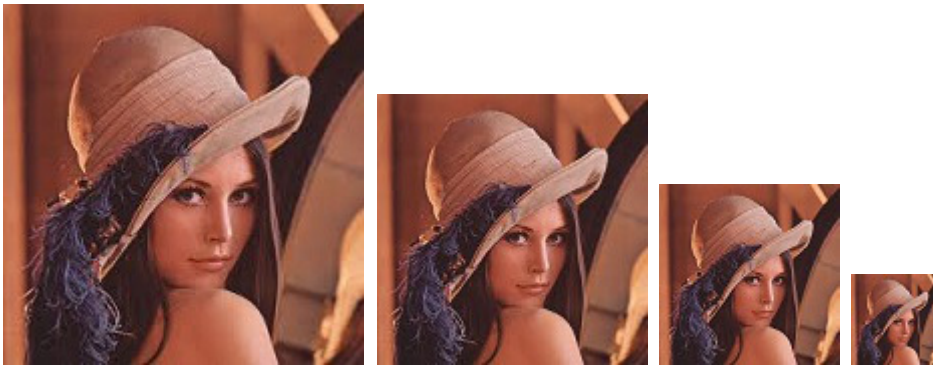


Figura 4-2. Imagen de Lena Soderberg, Revista THE CENTERFOLD, 1972 - Dominio público

4.2.3. Espacios de color

Los tipos de colores o las características que tiene una imagen se encuentra basada en como es su representación matricial, de forma más específica, los tipos de valores y el tamaño de su registro que cada uno de sus píxeles puede tomar.

Estos pueden encontrarse entre los siguientes 3 tipos básicos de grupos:

- Color
- Intensidad o Escala de Grises
- Blanco y negro

4.2.3.1. Color

El color es percibido de manera continua y ha llegado a tener una connotación importante para las actividades que realizamos y la manera en cómo cada una de las cosas tienen significado. Esto conllevó a que durante los años 1988 al 1992 se investigara a profundidad la enigmática naturaleza del color y el sentido de ella. Las imágenes a color son dadas esencialmente por la combinación de ciertos colores base y con una adecuada mezcla entre ellos, son generadas aproximaciones a los colores de las imágenes

digitalizadas. Como bien se ha enfatizado, cabe aclarar que estos colores son simples representaciones matemáticas, estos modelos son los siguientes:

RGB Sus siglas en ingles (**R**ed - Rojo, **B**lue - Azul, **G**reen - Verde) es un modelo codificado de color en el que cada uno de los píxeles de la imagen se encuentra formada por la combinación en intensidad de cada uno de estos colores. Dicha intensidad se basa en que este color, o cada uno de ellos, puede tomar 256 valores (0 a 255) en donde de manera netamente aditiva son generados los colores de acuerdo a la intensidad de estas capas en el arreglo de imagen **RGB**. En la Figura 4-3 se muestran las capas de una imagen RGB y la figura 4-4 la estructura de un pixel RGB.

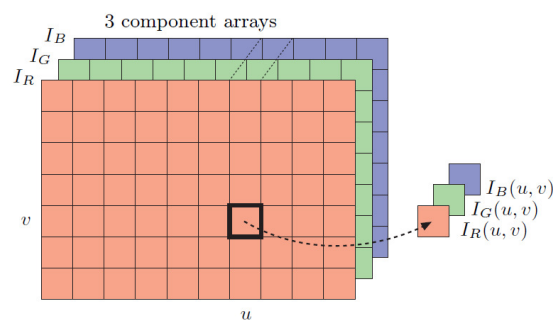


Figura 4-3. Capas de una imagen **RGB**

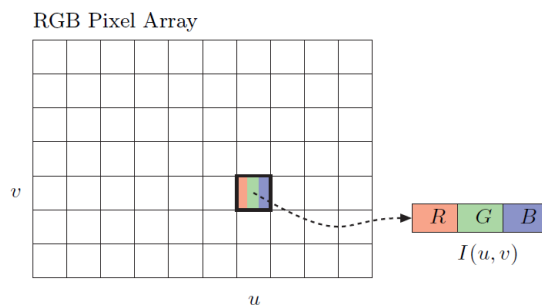


Figura 4-4. Estructura de un pixel en **RGB**

Este es uno de los estándares más conocidos y usados en el tratamiento y generación de imágenes digitales, además del continuo uso en los dispositivos digitales y procesos de tratamiento de imágenes.

En la Figura 4-5 se muestra la dimensión RGB de varios colores comunes.

CMYK Sus siglas en ingles (**C**yan - Cian, **M**agenta - Magenta, **Y**ellow - Amarillo, **K**ey - Negro) Es un modelo que se encuentra basado en la absorción de los colores ya

4. Conceptos Generales

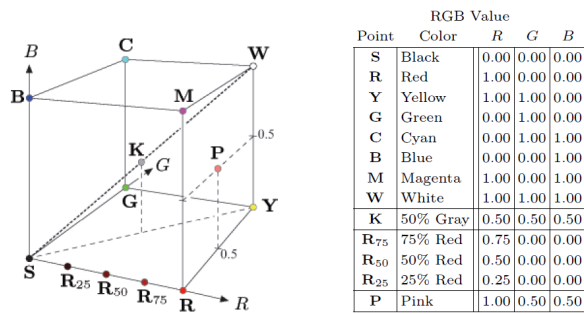


Figura 4-5. Dimensión RGB

que en síntesis representa los colores que no son absorbidos por el objeto en el cual incide la luz. También hay que tener en cuenta que este modelo de color se encuentra relacionado indirectamente con el RGB, debido a que los tres colores principales son opuestos uno del otro, actuando como un filtro natural del mismo.

- Cian es el color opuesto al Rojo.
- Magenta es el color opuesto al Verde.
- Amarillo es el color opuesto al Azul.

La Figura 4-6 muestra la gama de colores básicos CMYK.

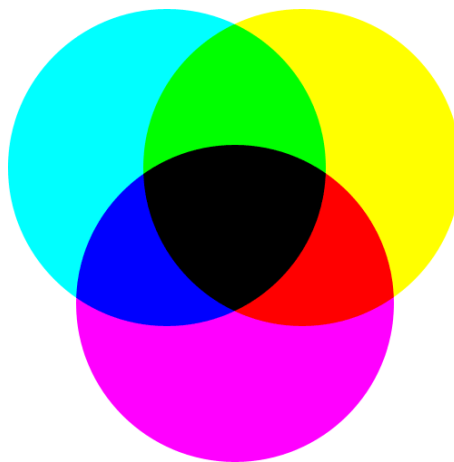


Figura 4-6. Gama de colores de CMYK

HSL y HSI Sus siglas en inglés (**H**ue - Matíz, **S**aturation - Saturación, **L**ightness - Luminosidad) y (**H**ue - Matíz, **S**aturation - Saturación, **I**ntensity - Intensidad), Son una deformación no lineal del modelo, que se encuentra relacionado con los valores máximos y mínimos de los matices y cuán intenso es su color debido a su saturación

e intensidad y luminosidad, dado el caso de cada uno de los dos. Su representación cónica se muestra en la Figura 4-7.

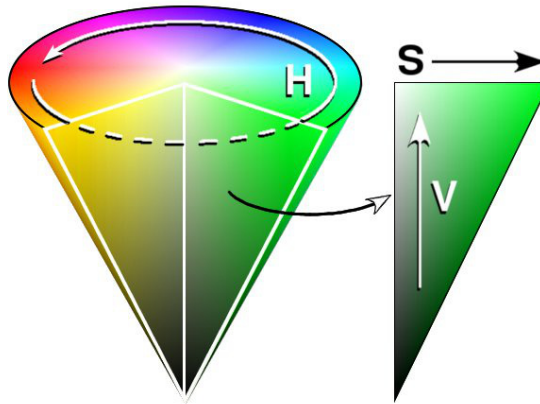


Figura 4-7. Espacio de color de HSV

4.2.3.2. Intensidad o Escala de Grises

Las imágenes como son vistas naturalmente presentan gamas de color que, gracias a su mezcla, aproximan los colores tal que sean semejantes a los reales que se encuentran en la realidad. Pero al momento de trabajar en el procesamiento es uno de los pasos por los que la imagen debe tratarse debido a que, en la mayoría de aplicaciones, el trabajo con los colores no es algo esencial o necesario, donde se encuentre información predominante. Los niveles de intensidad o niveles de grises son una representación equivalente de la imagen, esto se hace, por lo general, con un escalado de 256 niveles desde el negro al blanco.

Esta imagen de intensidad es una muestra de la imagen real en la cual se trabaja. Se habla generalmente de imágenes en blanco y negro en lo que realmente respecta a una gran variación de valores de gris, es por esto que es llamada una escala de intensidades.

Dichos valores de gris que son representados en la imagen se encuentran dados por la resolución de la cantidad de bits que cada uno de los píxeles representa, así se encuentra dado por la expresión $[0 \sim 2^k - 1]$. Entre este rango de valores, el 0 o mínimo valor de uso representa el negro y el $2^k - 1$ el color blanco. La Figura 4-8 muestra la representación de varios niveles de gris.

Los valores de esta escala por lo que se encuentran generalmente las imágenes en gris son de una resolución de 8 bits lo que da un campo de 256 valores $[0 \text{ a } 255]$ de gris para el uso en la imagen.

4. Conceptos Generales

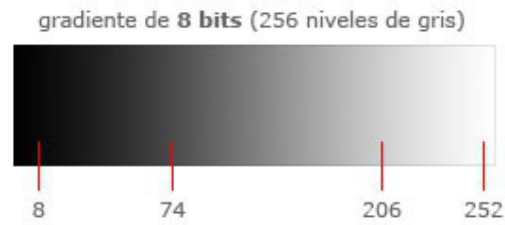


Figura 4-8. Gradiente de grises de 8 bits

4.2.3.3. Imagen Binaria

Es una imagen en su mínima expresión formada en conjunto por sus pixeles los cuales tienen un tamaño de 1 bit, esto quiere decir que solo pueden tomar 2 valores 0 ó 1 en concepto negro o blanco, en correspondencia. También es llamado un campo de color monocromático en el cual entra la escala de grises, generalmente también llamado un bi-nivel. Una forma para poder llegar a representar o pasar de una imagen natural a una imagen binaria se encuentra dado por el Método de Otsu, del cual se ampliará su definición más adelante.

5. Temáticas desarrolladas

Como finalidad para el trabajo se tiene el análisis de las regiones que se encuentran en la imagen y de acuerdo a la composición de esta se hace la identificación y caracterización. Para poder llegar a este punto se deben revisar una gran cantidad de parámetros y procesos que tratan a la imagen y poco a poco comienzan a tomar información que será de uso para instancias posteriores. Estos procesos son los siguientes:

5.1. Digitalización

La naturaleza de las señales con las cuales se trabajan en ámbitos virtuales o de desarrollo no son necesariamente digitales o algún tipo de información compatible, por lo que es necesario poder tener dichos datos en una representación equivalente para poder trabajar de una manera más sencilla y tangible [11]. Por esto se puede hacer una captura de la información por medio de cámaras digitales o la generación de esta, en algunos casos para la facilidad y pruebas, desde un sistema o entorno con herramientas que lo permitan como lo es MATLAB.

Estas imágenes son almacenadas en varios formatos de imagen dentro de los cuales y los más usados los son *jpg*, *png*, *bmp*. La figura 5-1 muestra una imagen digital en espacio de color RGB.



Figura 5-1. Imagen digital a color

5. Temáticas desarrolladas

Para el trabajo con las imágenes, estas se grabarán en un formato jpg (o jpeg), la imagen se encuentra conformada por una mezcla de 3 capas de colores estas, con diferentes intensidades, conforman una representación similar a la imagen real, este estándar de colores es denominado RGB (Red, Green, Blue), en el que cada punto de la imagen o píxel tiene un valor entre 0 y 255, teniendo como la ausencia de dicho color 0 y la máxima intensidad del color como 255.

5.2. Imagen de intensidad

Para poder dar paso a algoritmos más avanzados en el procesamiento de imágenes debe hacerse un tratamiento a la imagen de manera inicial, hacer algunos procesos previos para que la información que se presenta a través de la imagen pueda ser más manejable y más pura a nivel de información útil en el sistema, esto hará que de una u otra manera la imagen vaya paulatinamente perdiendo cualidades que la identificaban tales como la legitimidad o el color que en ella se presentaba [11].

El cambio a imagen de intensidad tiene como base la imagen en RGB que consta de las 3 capas de colores (Red - Green - Blue) y sobre esta se pueden hacer procesos ponderados, estadísticos o de ponderación selectiva para poder sacar un equivalente del valor del píxel en las 3 imágenes, que representará un valor de gris en la imagen de intensidad; aquí se pierde la propiedad del valor pero se guarda la información de la forma que contiene.

Estos cambios son percibidos en la ausencia de la intensidad del color, mientras que se retiene o guarda la cantidad de luz que esta presenta. Por eso podemos ver que la imagen se encuentra ahora en un estado un poco más sencillo a nivel de color y más homogénea, pero de la misma manera va convirtiéndose en información menos compleja para procesar.

Toda esta transformación se hace basada en 3 tipos de conversión final que puede tener la imagen, debido a la relevancia que tengan cada uno de los colores o debido a la percepción misma que se tiene por las personas. Estos tipos son los siguientes:

Lightness: Este proceso se enfoca en obtener un valor promedio de los valores de cada uno de los píxeles de la imagen entre el máximo y el mínimo de los 3.

$$I(x, y) = \frac{\max(R, G, B) + \min(R, G, B)}{2}$$

Average: Este es el más sencillo de los 3 procesos de transformación ya que se basa en el promedio general de los 3 valores de las capas en cada píxel.

$$I(x, y) = \frac{\text{value}(R, G, B)}{3}$$

Luminosity: Este método es mas avanzado de los 3 pero sigue siendo en esencia sencillo, ya que basa su algoritmo en cómo percibe el ojo humano los colores y cuán relevante o cuál es su peso en la percepción del color de una imagen. Siendo así el ojo humano más sensible al color verde.

$$I(x, y) = 0.2126R + 0.7152G + 0.0722B$$

La figura 5-2 muestra la imagen de la Figura 5-1 convertida a escalas de grises.



Figura 5-2. Imagen en escala de grises

5.3. Imagen binaria y el Método de Otsu

Una imagen binaria es un tipo especial de imagen en intensidad donde cada uno de los píxeles que esta contiene solo posee dos valores, blanco (1) o negro (0). En esta transformación de la imagen es natural que se pierdan detalles de la figura inicial, debido a que trata de representarse la imagen en intensidades con la mínima variación entre los bits o las áreas de *foreground* (Objeto) y *background* (Fondo), el método más común con el que este se hace, se basa en el hallazgo de dicha representación de la imagen inicial por medio del uso de un umbral, este es el Método de Otsu [13, 14].

En el Método de Otsu se hace una búsqueda exhaustiva de un umbral en el cual se minimice la varianza de las clases, definida así como una suma ponderada de la varianza de las mismas.

$$\sigma_w^2(t) = \omega_1(t)\sigma_1^2(t) + \omega_2(t)\sigma_2^2(t), \quad (5-1)$$

donde los pesos ω_i son las probabilidades de las dos clases separadas por un umbral t y σ_i^2 son las varianzas de estas clases.

5. Temáticas desarrolladas

Este método muestra que minimizando la varianza de las clases es igual que maximizar la varianza de la que se habla.

$$\sigma_b^2(t) = \sigma^2 - \sigma_w^2(t) = \omega_1(t)\omega_2(t)[\mu_1(t) - \mu_2(t)]^2 \quad (5-2)$$

La sentencia anterior es expresada en términos de las probabilidades de ω_i y el promedio de la clase μ_i .

La probabilidad de la clase se encuentra dada por:

$$\omega_1(t) = \sum_0^t p(i). \quad (5-3)$$

Mientras que el promedio de la clase $\mu_1(t)$:

$$\mu_1(t) = \frac{\sum_0^t p(i)x(i)}{\omega_1}, \quad (5-4)$$

donde $x(i)$ es el valor en el centro del histograma binario en i . De igual manera se pueden hacer los cálculos para la parte superior del histograma para los valores correspondientes de $\omega_2(t)$ y μ_2 . Gracias a la efectividad y versatilidad del algoritmo puede hacerse de manera independiente en el orden del cálculo.

Se debe prestar especial atención al realizar este proceso, debido a que si dicho calculo de nivel de umbral no se hace bien, puede perjudicar la calidad y los objetos o información que en la imagen se encuentra, esto debido a que se perderían contornos o figuras entre el blanco o negro de la imagen, para este caso tenemos una representación de lo que puede ocasionar el no obtener el umbral propio de cada imagen (ver la Figura 5-3).



Figura 5-3. Imagen binarizada con el método de Otsu

5.4. Morfología Matemática de la imagen

Es un campo de las matemáticas que se centra en contribuir con cierta cantidad de operadores para el procesamiento de la imagen. Estos operadores trabajan básicamente las imágenes binarias, pero en ciertos casos se ha llegado a procesar escalas de grises y estructuras en otras dimensiones.

Dentro de la morfología hay dos operadores básicos que son esenciales para el procesamiento de las imágenes las cuales son la erosión y dilatación (*erode and dilation*). Normalmente en las imágenes binarias los pixeles blancos (1) representan regiones en el *foreground* y los pixeles negros (0) el *background*. En esta estructura se tiene una región bidimensional de coordenadas.

5.4.1. Dilatación

El objetivo de este operador es hacer crecer, de manera paulatina, el contorno de las regiones denotadas como *foreground*, estas regiones crecen en tamaño, disminuyendo así las regiones negras, que pueden encontrarse rodeadas de pixeles blancos o que pueden estar en en cualquier parte de la imagen.

La dilatación tiene en cuenta dos parámetros de entrada los cuales son:

- La imagen que va a ser dilatada, usualmente en formato binario, aunque puede encontrarse en escala de grises teniendo un efecto muy similar.
- El segundo item es un conjunto de coordenadas de los pixeles que se encuentran en la imagen los cuales darán la pauta para hacer la dilatación en la imagen

Estos puntos harán que de acuerdo que los grupos de pixeles de *foreground* y *background* en los que la intersección no sea un espacio vacío, la imagen se dilate o "propague" las regiones blancas. La figura 5-4 ilustra el concepto de dilatación de una imagen.

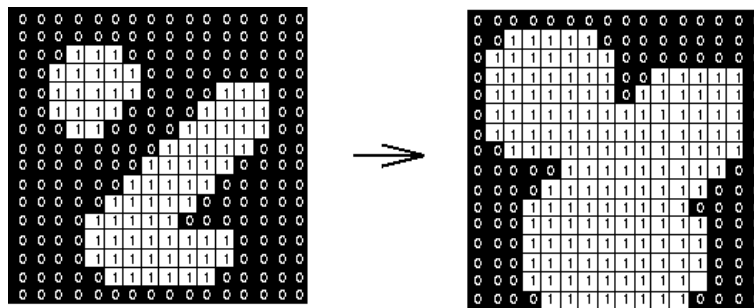


Figura 5-4. Dilatación de una imagen binaria

5.4.2. Erosión

El efecto que tiene esta operación en la imagen es generar un crecimiento en las regiones adyacentes de *foreground* y *background*, teniendo regiones de pixeles blancos cada vez más pequeñas. La fundamentación matemática es igual a la de la dilatación, teniendo en cuenta los grupos de pixeles cuyas intersecciones no son vacías. La figura 5-5 ilustra el concepto de erosión de una imagen.

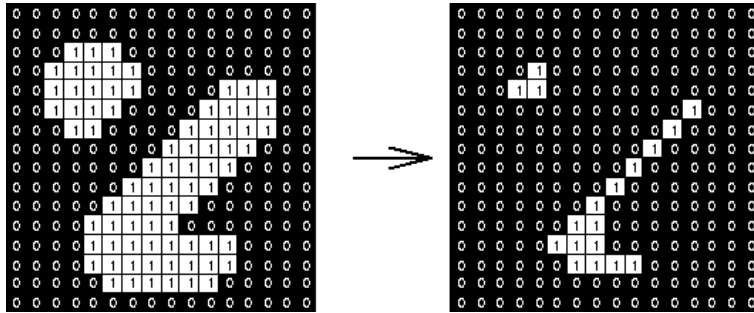


Figura 5-5. Erosión de una imagen binaria

Los parámetros que se manejan en este algoritmo son:

- La imagen que va a ser erosionada, usualmente en formato binario.
- El segundo item es un conjunto de coordenadas de los pixeles que se encuentran en la imagen los cuales darán la pauta para hacer la erosión en la imagen.

Los dos operadores anteriores son herramientas básicas de la morfología de la imagen binaria, estas constituyen procesos en niveles superiores que tienen como objetivo mejorar la imagen y tratarla para poder hacer que la adquisición de la información sea de mejor calidad y que la diferencia que se tiene con respecto de la información real sea con un nivel de correlación casi completo. Entre las funciones o conjunto de operadores que se tienen son los siguientes:

- Apertura (*Opening*)
- Cierre (*Closing*)
- Adelgazamiento (*Thinning*)
- Engrosamiento (*Thickening*)
- Esqueleto de la imagen (*Skeletonization/Medial Axis Transform*)
- Transformada de localización (*Hit and Miss Transform*)

Estos conjuntos de operadores tienen funciones especializadas para trabajar con la imagen binaria, pero de ellas solo fueron aplicadas 2 que son la apertura y el cierre de la imagen (*opening* y *closing*).

5.4.3. Apertura

Esta función tiene como base los dos operadores antes mencionados e itera entre ellos de manera que reduce los márgenes de las áreas de *foreground* y demarcando de nuevo las regiones de *background*, haciendo que los ruidos producidos por el tratamiento de la imagen, o su conversión a formato digital sean borrados de la imagen. En pocas palabras se hace una limpieza de toda la información de medidas relativamente reducida. La Figura 5-6 muestra la imagen de la Figura 5-3 luego de un proceso de apertura.



Figura 5-6. Resultado de la apertura

5.4.4. Cierre

La operación de cierre de la imagen consta de los mismos procesos básicos que son la dilatación y erosión de la imagen pero de manera inversa ya que aumenta las regiones de *foreground* y disminuyendo las de *background* con respecto a los contornos o a los márgenes de la imagen que se encuentran cercanas. El objetivo final es preservar el fondo de la imagen con formas similares, conservando así la información que allí se encuentra. La Figura 5-7 muestra la imagen de la Figura 5-3 luego de un proceso de cierre.



Figura 5-7. Resultado del cierre

5.5. Etiquetado de regiones en la imagen

Cuando se trata del reconocimiento de imágenes en el procesamiento digital, poder identificar las regiones es un aspecto crucial que da paso a la adquisición y tratamiento de información que allí se encuentra y que la máquina por sí sola no puede diferenciar ya que para ella son simples valores en un formato predefinido de imagen [11].

Al momento de identificar las regiones en la imagen el poder indicar cuántas regiones se encuentran, qué píxel se encuentra ligado a cuál región y el cómo aislar dichas regiones para un proceso aislado son los campos primordiales para poder abstraer la información de la imagen binaria. Ver Figura 5-8.

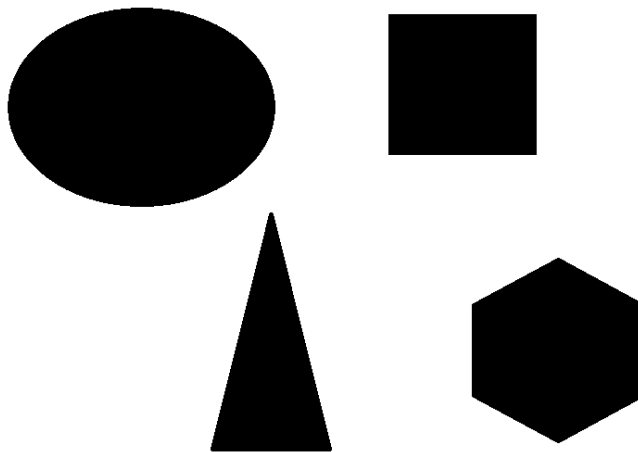


Figura 5-8. Imagen binaria con regiones

Cómo primera instancia el poder hallar cada una de las regiones dentro de la imagen es un proceso por el cual se trabaja la imagen de una manera exhaustiva e invasiva en cierto sentido ya que este proceso puede ir de la mano de la conmutación de valores en la misma figura, en caso tal de que no se trabaje con una copia de la misma, lo cual si se hace mal podría corromper totalmente la información que se encuentra en la imagen, pudiendo solo así, generar una información basura para el usuario o para el sistema, todo esto debido a que la marcación de los bits que se encuentran en la imagen cambiarán de valor de acuerdo a la cantidad de regiones que se encuentren. Ver Figura 5-9.

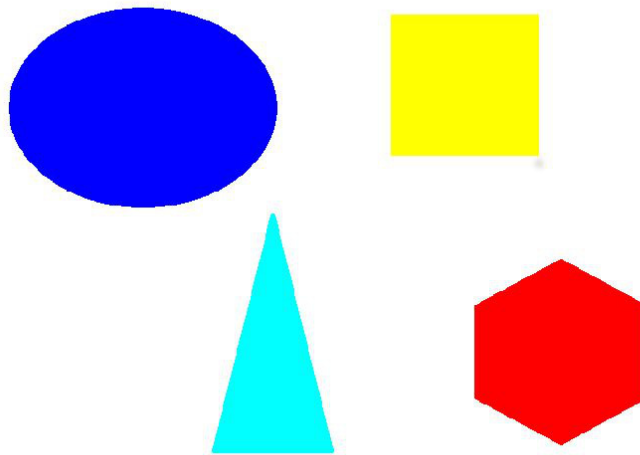


Figura 5-9. Reconocimiento de las regiones de la imagen bianria

Este proceso puede tener varios perfiles de acercamiento debido a cuán recurrente se desee iterar en la imagen para obtener los datos.

Se pueden tener 2 enfoques para poder identificar dichas regiones, estas son denominadas *Flood Filling* y *Secuencial Region Labeling*.

5.5.1. Flood Filling

El llenado por inundamiento consiste en un algoritmo que conecta todos los puntos que se encuentren en una misma área, a partir de una semilla en dicha región [11]. Para la correcta ejecución de este código y que este mismo pueda hacer una detección de regiones, es necesario el manejo de ciertos aspectos:

Semilla: Al momento de dar comienzo al etiquetamiento de las zonas dentro de la imagen, es necesario poder generar un punto semilla que servirá para poder propagar

5. Temáticas desarrolladas

el *label* de la región en la se encuentra contenida, esta necesariamente tiene que ser un punto que difiera netamente de la imagen de fondo, para que la propagación tenga sentido en las etiquetas de la imagen.

Etiqueta: En el mismo momento de dar comienzo en el proceso de reconocimiento de regiones, se debe tener claro el punto de comienzo de las mismas para así poder controlar los valores que se generan y que en los momentos en donde se ejecuta de una manera incorrecta genera zonas repetidas lo que produce una divergencia en la información presentada al usuario o como tal al software de procesamiento del cual este haga parte.

Un aspecto de gran importancia es la tipología de vecinos que se traten en el código implementado ya que esto ayudará en cierto sentido a la verificación de una manera más rápida o confiable pero de igual manera implica un poco más de procesamiento para el equipo y en el caso de imágenes robustas, tiempo en el equipo lo que puede generar retrasos en procesos de tiempo real o de pronta respuesta.

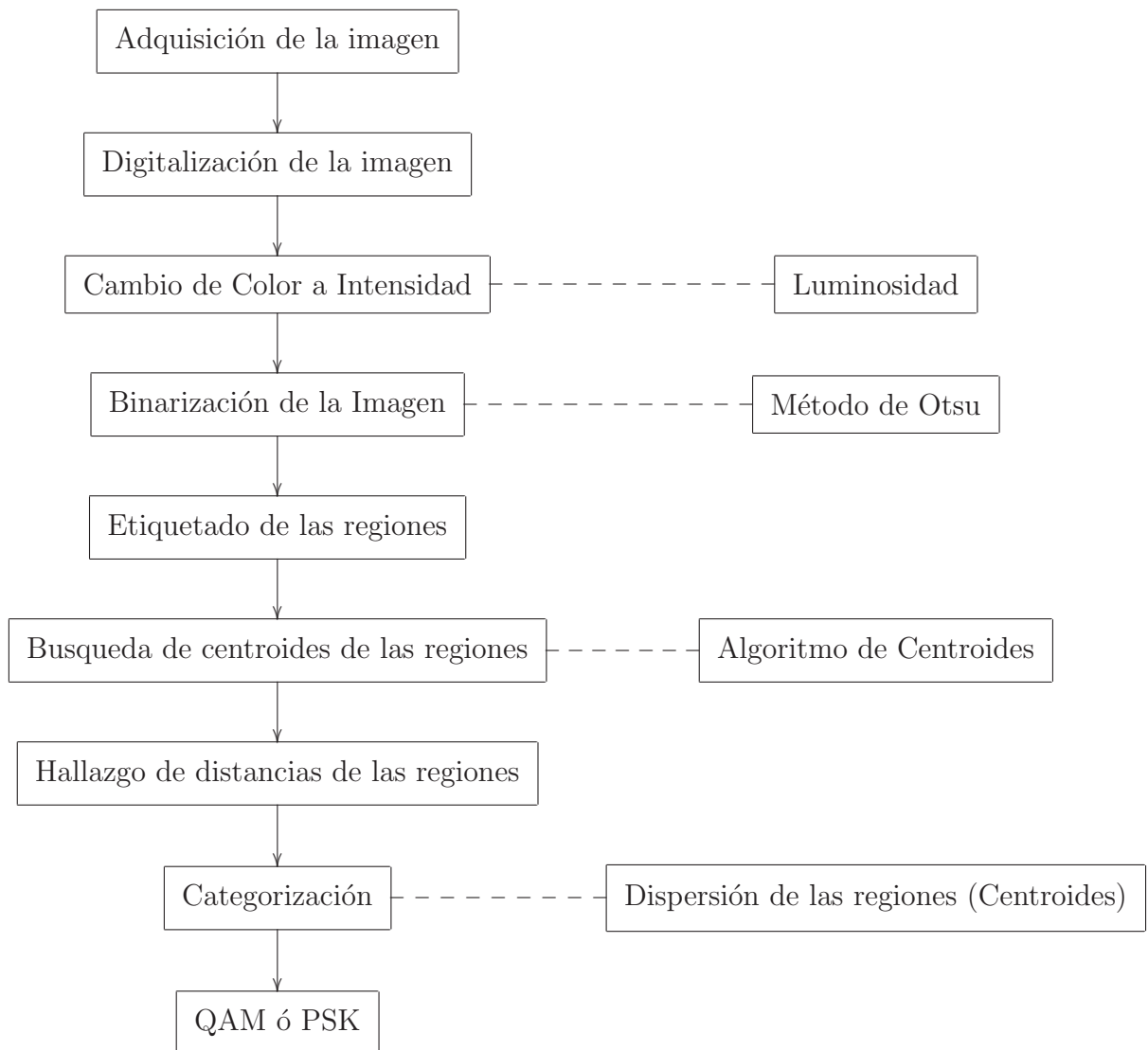
5.5.2. Secuencial Region Labeling

El etiquetado secuencial de regiones, es un algoritmo que consiste en rotular cada uno de las pixeles de la imagen de manera consecutiva de tal manera que cada uno de ellos se diferencie, en un primer paso, del fondo de la imagen, teniendo así una marca única en toda la imagen, de manera siguiente se genera una matriz de colisiones ya al tener puntos en la imagen con diferentes marcas, es necesario saber los valores que son adyacentes unos con otros y así hacer de manera regresiva la tendencia a un solo valor por parte de las etiquetas en cada una de las regiones. Hecho esto y como último paso es numerar las regiones de manera ordinal para poder ver una progresión en las regiones de la imagen [11].

El aspecto más importante en este algoritmo es el concepto de vecinos de la imagen y estos se diferencian en dos tipos, muy similares pero que dan un poco más de procesos y veracidad.

6. Resultados

Como muestra del proceso que se hizo con el tratamiento de las imágenes de las modulaciones de las constelaciones digitales, a continuación serán analizadas en cada uno de sus pasos y se mostrarán las características y el enfoque que se tiene como fin en el presente trabajo.



6.1. Preprocesamiento de la imagen

Las constelaciones de las modulaciones digitales son especiales en su forma y pueden aportar datos sobre el tipo de información que quiere entregarse, fiabilidad y velocidad que se quiere tener en la transmisión. Como puede verse, en la Figura 6-1 se encuentra cada una de las modulaciones con las cuales se hicieron pruebas para hacer la detección y caracterización de las modulaciones.

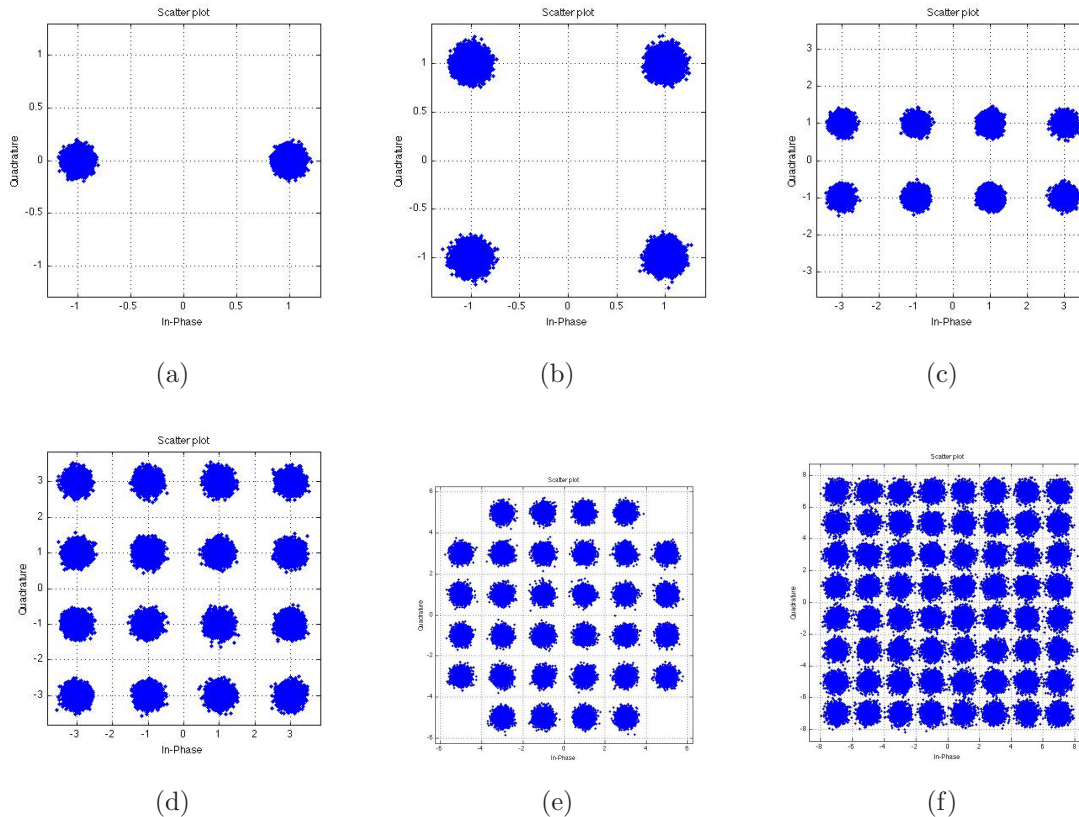


Figura 6-1. Constelaciones QAM: (a) 2-QAM, (b) 4-QAM, (c) 8-QAM, (d) 16-QAM, (e) 32-QAM y (f) 64-QAM.

En estas imágenes se puede ver las regiones dentro de un plano cuyos ejes de coordenadas son *Quadrature* para el eje y y *In-Phase* para el eje x , en este plano se encuentra distribuida la información, formando así los cúmulos que representan los datos en transmisión. Cabe aclarar que entre más constelaciones tenga la modulación mas velóz viaja su información. Además, se puede observar que se encuentran elementos adicionales que para obtener información se pueden omitir sin que haya una perdida de datos que pueda afectar como lo son las letras, los puntos de referencia y los recuadros, ya que lo importante de estas imágenes solo son las constelaciones y su distribución. De allí que su tratamiento se hará paso a paso viendo así la trasformación que tiene en cada proceso

y aclarando el porqué de ello.

Inicialmente se hará la conversión de imagen de color a escala de grises o intensidad (Figura 6-2), teniendo así un cambio en la información sin pérdidas, significativas o importantes. Como en nuestras imágenes solo hay presencia de un color (azul), no se podrá apreciar de manera clara las tonalidades de los grises, pero se verán cambios notables.

Los colores para nuestro caso no son relevantes ya que lo que importa son las formas de las constelaciones y como puede verse tanto el contorno como su forma se guardan desde los primeros cambios, preservando así la esencia de lo que allí se encuentra.

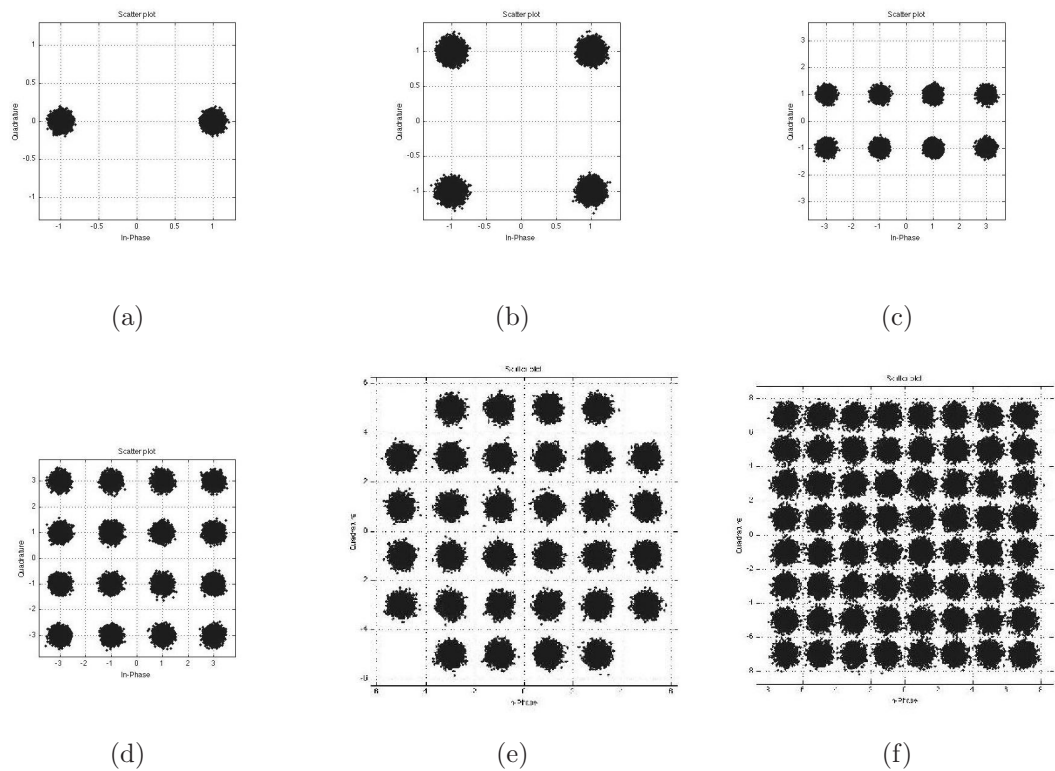


Figura 6-2. Imágenes de intensidad de las constelaciones QAM: (a) 2-QAM, (b) 4-QAM, (c) 8-QAM, (d) 16-QAM, (e) 32-QAM y (f) 64-QAM.

En este punto apenas se ha tratado la imagen, pero como se había mencionado antes, es necesario además de transformar, eliminar cierta información que se encuentra presente ya que puede generar desviaciones en los datos que se quieren obtener, estos objetos a eliminar pueden ser generados por la misma naturaleza de donde fueron obtenidas dichas capturas o ruido generado ya al momento de la transmisión de los datos. Este ruido, el cual se pretende eliminar, puede llegar a ser tan grande y nocivo para la imagen que puede distorsionar todo, dejando sin un material apto al sistema para hacer su trabajo.

6. Resultados

Para esto se hará una expansión de los puntos de *foreground* iniciales y de esta manera filtraremos la información teniendo así nuestra materia prima para el enfoque de nuestro trabajo. Claro este proceso además de afectar el ruido, también afectará a nuestra señal pero no la comprometerá de una manera relevante. Este resultado se muestra en la Figura 6-3

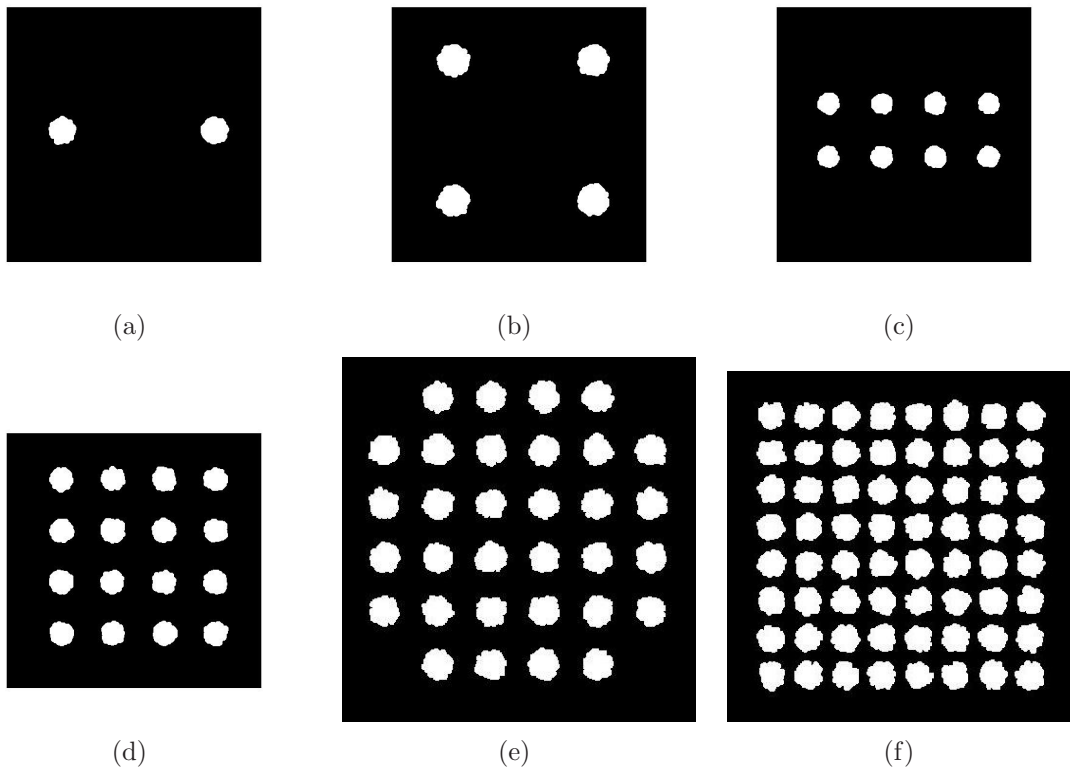


Figura 6-3. Imágenes binarias de las constelaciones QAM: (a) 2-QAM, (b) 4-QAM, (c) 8-QAM, (d) 16-QAM, (e) 32-QAM y (f) 64-QAM.

Como se puede observar en el conjunto de imágenes, las etiquetas, marcas y ejes que se tenían han desaparecido, esto deja sólo las constelaciones en la imagen, pero como puede verse también se ha comprometido la información de las mismas constelaciones eliminando un poco de información de esta pero de tal manera que las características aún se encuentran en ella.

Ahora el paso a seguir es poder hacer la detección de las regiones que son consideradas constelaciones (regiones en blanco) y los centros relativos de las mismas y poder así, por medio de las distancias, medir su dispersión o desviación con respecto a una base, saber que tipo de modulación se tiene a la entrada del sistema. En la Figura 6-4 se muestran las regiones etiquetadas y los centroides se ven marcados con un asterisco (*).

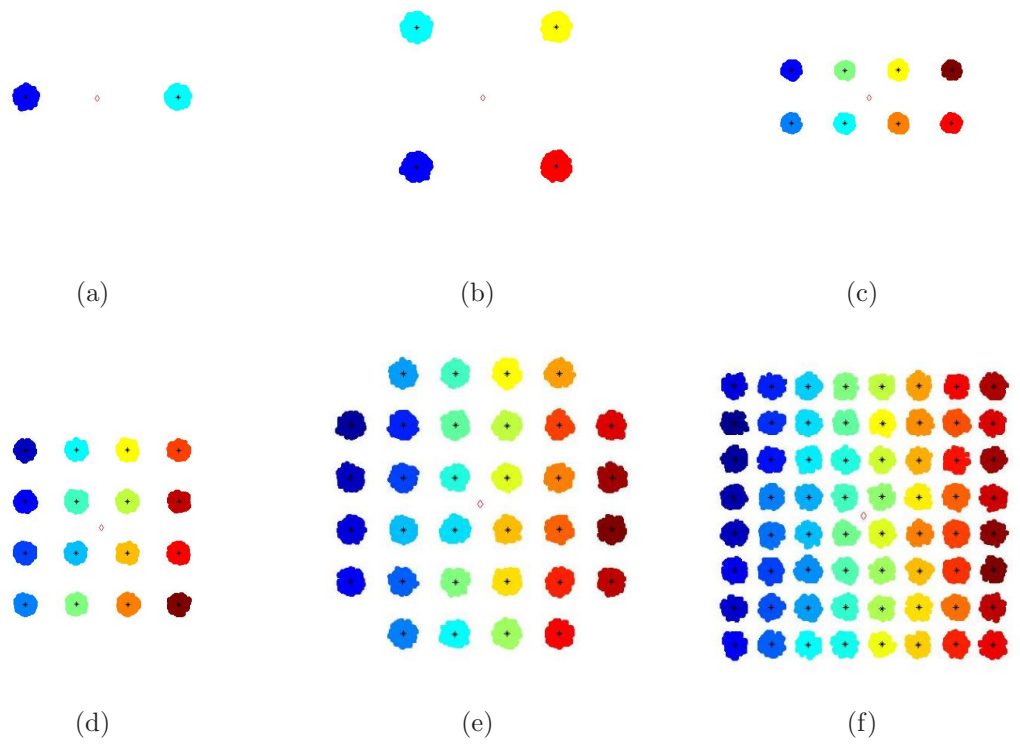


Figura 6-4. Regiones diferenciadas con su respectivo centroide QAM: (a) 2-QAM, (b) 4-QAM, (c) 8-QAM, (d) 16-QAM, (e) 32-QAM y (f) 64-QAM.

6.2. Categorización de las constelaciones

De acuerdo a la información que se está procesando la manera más sencilla de poder identificar cuál es la modulación que se tuvo como entrada es por medio del análisis de las distancias debido a que QAM son modulaciones por amplitud, cada una de las constelaciones tiene una distancia diferente al centro de la imagen; siendo el caso de una modulación PSK, por el contrario, todas las constelaciones son equidistantes del centro formando una especie de círculo en la imagen.

Tomando el menor valor de las distancias y con un margen de error del sistema, se puede comparar con cada una de las distancias de los centroides halladas, si dichas distancias no se encuentran dentro del margen se tiene que la constelación es de tipo QAM, si por el contrario todas las distancias se encuentran en el margen de error, se tiene certeza que es una constelación tipo PSK.

Como se puede ver en la Figura 6-5, se introducirán 2 imágenes, una 8-QAM y la otra 8-PSK y podrá verse el resultado como mensaje del sistema.

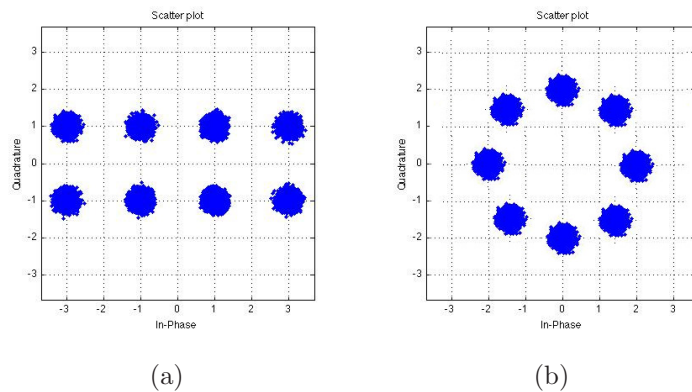


Figura 6-5. Constelaciones de Prueba para el sistema: (a) 8-QAMP, (b) 8-PSKP

Estas distancias son notoriamente diferentes para cada uno de estos dos tipos de modulación, mientras que una aumenta de manera escalonada, la otra permanece casi constante, QAM y PSK respectivamente (Figura 6-6).

Teniendo ya las distancias, se generan mensajes informativos que dan a conocer la naturaleza de la constelación que se tuvo en la entrada del sistema (Figura 6-7).

6.2. Categorización de las constelaciones

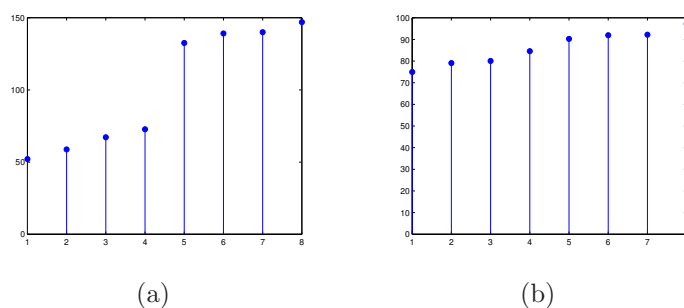


Figura 6-6. Distancias de los centroides para cada modulación: (a) QAMDD, (b) PSKDD

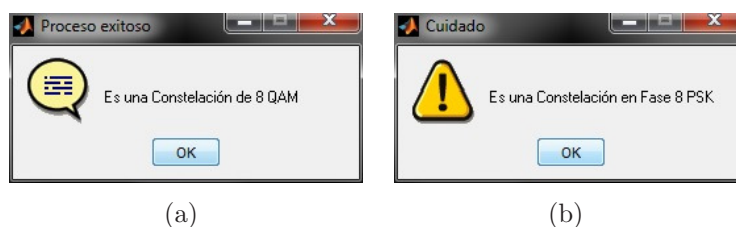


Figura 6-7. Mensajes de categorización de las modulaciones: (a) QAMM, (b) PSKM

En la Tabla 6-1 se muestra los tiempos de ejecución del código maestro, en el cual se encuentra todo el procesamiento y categorización con el uso de las herramientas y comandos propios de MATLAB que pueden dar una gran cantidad de información con solo cambiar el argumento de la función y también funciones que dan resultados específicos, sin tener que ahondar en detalles o algoritmos adicionales y el código generado para el trabajo, en el cual, cada una de las herramientas de procesamiento de la imagen se ha programado paso a paso con base en la teoría antes enunciada.

Como puede verse en la Tabla 6-1 los tiempos de iteración para cada una de las constelaciones va aumentando de manera gradual a medida que el nivel de modulación aumenta, así para cada uno de los códigos. Los tiempos para el código maestro se encuentran notoriamente por debajo de los tiempos de el código generado, teniendo

Constelación	Compilación Maestro	Compilación código Generado
2QAM	693, 96 ms	1, 44 s
4QAM	694, 92 ms	1, 50 s
8QAM	700, 43 ms	1, 54s
16QAM	762, 82 ms	1, 59 s
32QAM	825, 41 ms	4, 02 s
64QAM	870, 97 ms	4, 73 s

Tabla 6-1. Tabla de tiempos de ejecución

6. Resultados

una respuesta mas rápida y eficiente en tiempo. Para el código generado se tienen tiempos mayores a 1 segundo en las primeras 4 modulaciones y a 4 segundos en las últimas dos, lo que es una gran cantidad de tiempo a comparación de los 693,96ms para la primera modulación y los 870,97ms para la última modulación, valores que no llegan a superar el segundo en ninguna de sus iteraciones.

De acuerdo a lo anterior las herramientas que posee MATLAB son más eficientes a nivel de tiempo ya que se encuentran bien condensadas y simplificadas a su mínima expresión para poder ser ágiles al momento de trabajar y procesar información.

7. Clasificaciones

Tras haber procesado cada una de las imágenes de las constelaciones de las modulaciones digitales, se tuvo como resultado una categorización de cada uno de los niveles de modulación con algunos casos, en los que gracias a la naturaleza del procesamiento e identificación hace que el resultado sea ambiguo.

Para las modulaciones QAM y PSK en ciertos niveles de modulación como lo son 2-QAM con 2-PSK y 4-QAM con 4-PSK, se presentan resultados que el sistema no logra diferenciar, debido a la similitud de las imágenes y en la forma como se hace la categorización, por distancias del centro de la imagen a cada uno de las regiones dentro de la imagen, estos 4 niveles de modulaciones no se pueden lograr identificar de una manera correcta o certera como lo son los otros niveles de modulación superior.

Con lo anterior la categorización desarrollada solo es fiable para los niveles superiores a 8-QAM, teniendo en cuenta la cantidad de ruido que se encuentre presente en la imagen y de igual manera la calidad que esta tenga al momento de ingresar al sistema de clasificación.

Conclusiones y trabajos futuros

Hay casos en los cuales este método no sea tan confiable, debido a que pueden confundirse ciertas características de otros tipos de modulación, que se pueden presentar modificando parámetros como la fase o el nivel.

Los niveles de blanco y negro que son hallados por el Método de Otsu, son basados de acuerdo al equilibrio de los niveles de luz y ausencia de esta en la imagen, para que cada una de las formas que allí se encuentran puedan ser diferenciadas, pero de igual manera, al modificar el nivel de umbral que en dicho método se encuentra, podemos modificar los detalles que se encuentran en la imagen, pudiendo centrar los detalles en características a voluntad para la abstracción de información.

De acuerdo a los procesos virtuales que se pueden generar para el Procesamiento Digital de Imágenes, las percepciones de los objetos y las formas pueden variar de acuerdo a la importancia de la percepción de los colores o aspectos mas intrínsecos de la vista, de esta manera se puede mejorar el detalle que se encuentran en las imágenes y no desperdiciar información que puede ser valiosa para procesos de tratado de información.

Los tiempos de procesamiento que se tienen para cada una de las constelaciones va aumentando a razón del nivel de la modulación debido a la cantidad de cálculos que deben realizarse. Este tiempo es mucho más notorio en el código generado ya que no se encuentra tan optimizado como las herramientas propias de procesamiento que pueden usarse en MATLAB.

Los algoritmos implementados dan una experiencia de un nivel más bajo a las herramientas que se usan en el entorno de MATLAB, pudiendo conocer al detalle los procesos que se llevan a cabo y teniendo así una eventual implementación a nivel de *hardware* para reconfiguraciones en su modo de operación.

Para trabajos futuros que tengan como base este tema, pueden ser usados métodos mas complejos y robustos de clasificación, que permiten que permitan un análisis mas general, tales como clasificadores no lineales, redes neuronales, entre otros.

A. Códigos

A.1. Método de Otsu - Función de binarización

```
function [imgbin] = binaryimg(img)
[H L C]=size(img);
if H==1 || L==1 || C>1
    display('El argumento img debe de ser una matriz de una sola dimensión');
else
    imgbin=zeros(H,L);
    Tp=H*L;
    cont=0;
    val_img=linspace(0,255,256);
    for i=0:255
        lvls(i+1)=length(find(img==i));
    end
    prod=lvls.*val_img;
    for i=1:255
        %Background
        Wb(i+1)=length(find(img<i))/Tp;
        Mb(i+1)=(sum(prod(1:i)))/(sum(lvls(1:i)));
        Vb(i+1)=(((val_img(1:i)-Mb(i+1)).^2)*lvls(1:i)')/sum(lvls(1:i));

        %Foreground
        Wf(i+1)=length(find(img>=i))/Tp;
        Mf(i+1)=(sum(prod(i+1:end)))/(sum(lvls(i+1:end)));
        Vf(i+1)=(((val_img(i+1:end)-Mf(i+1)).^2)*lvls(i+1:end)')/...
sum(lvls(i+1:end));
    end

    Vw=Wb.*Vb+Wf.*Vf;
    Vwm=Vw(2:end);
    Vwt=min(Vwm);
```

A. Códigos

```
for i=1:255
    if Vw(i)==Vwt
        i;break;
    end
end
m=i;
for i=1:H
    for j=1:L
        if img(i,j)>=m
            imgbin(i,j)=1;
        else
            imgbin(i,j)=0;
        end
    end
end
img_bw1=~imgbin;%Cambio de Background a Foreground
img_bwf=imopen(img_bw1,strel('disk',5));
imshow(img_bwf)
end
```

A.2. Conversión de color a Intensidades por niveles de colores

```
function [imgintocu] = inteye(img)
[H,L,C]=size(img);
if H==1 || L==1
    display('El argumento img debe de ser una matriz');
else
    ImgL1=img(:,:,1);
    ImgL1=(0.2126).*ImgL1;
    ImgL2=img(:,:,2);
    ImgL2=(0.7152).*ImgL2;
    ImgL3=img(:,:,3);
    ImgL3=(0.0722).*ImgL3;
    imgintocu=ImgL1+ImgL2+ImgL3;
    figure,imshow(imgintocu)
end
```

A.3. Conversión de color a Intensidades por promedio de capas

```
function [imgintavr] = intprom(img)
%Img=imread('sheets.jpeg');
[H,L,C]=size(img);
if H==1 || L==1
    display('El argumento img debe de ser una matriz');
else
    figure,imshow(img);
    ImgL1=img(:,:,1);
    ImgL2=img(:,:,2);
    ImgL3=img(:,:,3);
    imgintavr=zeros(H,L);
    for i=1:H
        for j=1:L
            imgintavr(i,j)=(floor((double(ImgL1(i,j))+double(ImgL2(i,j))+...
double(ImgL3(i,j)))/3));
        end
    end
    imgintavr=mat2gray(imgintavr);
    figure,imshow(imgintavr);
end
```

A.4. Conversión de color a Intensidades por niveles de luz

```
function [imgintlght] = intlght(img)
[H,L,C]=size(img);
if H==1 || L==1
    display('El argumento img debe de ser una matriz');
else
    imgintlght=zeros(H,L);
    for i=1:H
        for j=1:L
            imgintlght(i,j)=(max(floor((double(img(i,j)))+...
```

A. Códigos

```
min(double(img(i,j)))/2));
    end
end
imgintlight=mat2gray(imgintlight);
figure,imshow(imgintlight)
end
```

A.5. Centroides

```
function [b ] = lblcentimg(img)
ImL=bwlabel(img_bwf);%Comando de etiquetado de regi'on
imshow(label2rgb(ImL))%Visualizaci'on de las regiones
%-----%
%-----CENTROIDES DE LAS REGIONES-----%
%-----%
cx=zeros(1,max(ImL(:)));
cy=zeros(1,max(ImL(:)));
y = repmat([1:H]',1,L);
x = repmat([1:L],H,1);
Cant=0;
for i=1:max(ImL(:))
    Lp=ImL.*(ImL==i);
    Cant=Cant+max(sum(Lp'==i));
    m00=sum(Lp(:));
    xf=x.*Lp;
    yf=y.*Lp;
    m10=sum(xf(:));
    m01=sum(yf(:));
    cx(i)=m10/m00;
    cy(i)=m01/m00;
end
Dim=Cant/(max(ImL(:)));
%----- ORIGEN DE COORDENADAS -----%
m00=sum(img_bw1(:));
xf=x.*img_bw1;
yf=y.*img_bw1;
m10=sum(xf(:));
m01=sum(yf(:));
cxx=m10/m00;
cyy=m01/m00;
```



```

axis image
hold on
plot(cx,cy,'*k',cxx,cyy,'dr')
%-----HALLAZGO DE DISTANCIAS-----%
d=zeros(1,max(ImL(:)));
for i=1:max(ImL(:))
    d(i)=sqrt(((cx(i)-cxx)^2)+(cy(i)-cyy)^2);
    b=sort((d(:)),'ascend');
end
b'

```

A.6. Caracterización de las Constelaciones

```

%Código de categorización%
c = (b>(b(1)*1.3));
x=num2str(size(b,1));
cs=sum(c);
if cs>0
    h = sprintf('Es una Constelación de %s QAM',x);
    g = msgbox(h,'Proceso exitoso','help')
else
    h= sprintf('Es una Constelación en Fase %s PSK',x);
    g = msgbox(h,'Cuidado','warn')
end

```


Bibliografía

- [1] V. Alisouskas and W. Tomasi, *Digital and data communications*. Prentice Hall PTR, 1985.
- [2] M. Roden, *Analog and Digital Communication Systems*, ser. Discovery Press Series. Shroff Publishers & Distributors Pvt. Limited, 2006.
- [3] A. Goldsmith and A. Nin, “Wireless communications,” 2005.
- [4] A. Oppenheim, A. Willsky, and I. Young, *Signals and systems*, ser. Prentice-Hall signal processing series. Prentice-Hall, 1983.
- [5] M. Zhao and T.-S. Chua, “Markovian mixture face recognition with discriminative face alignment,” in *Automatic Face Gesture Recognition, 2008. FG '08. 8th IEEE International Conference on*, Sept 2008, pp. 1–6.
- [6] H. Ekenel, J. Stallkamp, H. Gao, M. Fischer, and R. Stiefelhagen, “Face recognition for smart interactions,” in *Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on*, July 2007, pp. 1007–1010.
- [7] D. Held, J. Levinson, and S. Thrun, “A probabilistic framework for car detection in images using context and scale,” in *Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference on*, May 2012, pp. 1628–1634.
- [8] T. Moranduzzo and F. Melgani, “Detecting cars in uav images with a catalog-based approach,” *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, vol. 52, no. 10, pp. 6356–6367, Oct 2014.
- [9] I. Lita, D. Visan, and I. Cioc, “Labview application for movement detection using image acquisition and processing,” in *Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), 2010 IEEE 16th International Symposium for*, Sept 2010, pp. 225–228.
- [10] W. Burger and M. Burge, *Digital Image Processing: An Algorithmic Introduction Using Java*, ser. Texts in Computer Science. Springer, 2008.
- [11] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd ed. Prentice-Hall, 2002.

Bibliografía

- [12] W. K. Pratt, *Digital Image Processing: PIKS Scientific Inside*. John Wiley and Sons, Inc., 2007.
- [13] M. Sezgin and B. Sankur, “Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation,” *Journal of Electronic Imaging*, vol. 13, no. 1, pp. 146–168, 2004.
- [14] N. Otsu, “A threshold selection method from gray-level histograms,” *Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, 1979.