

Capítulo III. Definiciones y conceptos sobre antenas

3.1 Definición de antena

Definición de antena

Como primera definición tenemos que una antena es un dispositivo que convierte las ondas dirigidas presentes en una guía de onda, *microstrip* o línea de transmisión, en ondas radiadas, viajando por el espacio libre o viceversa. [4]

3.2 Parámetros de diseño y caracterización de antenas

A continuación se enlistan los parámetros de diseño más importantes de una antena y se define cada uno de ellos. [2]

- Patrón de radiación
- Potencia radiada
- Intensidad de radiación
- Anchos de haz
- Resistencia de radiación
- Directividad
- Eficiencia
- Ganancia

Patrón de radiación

Es la representación tridimensional del valor promedio del vector de Poynting asociado a una antena. Se divide en “lóbulos”, regiones cerradas donde la radiación es continua. Los lóbulos están separados por puntos donde no hay radiación llamados “nulos” del patrón de radiación. El lóbulo con la mayor parte de la radiación es el lóbulo principal y puede haber más de uno con igual magnitud. Si hay más lóbulos se llaman secundarios y dependiendo de la posición donde se presenten, se llaman laterales o posteriores. Para ciertas aplicaciones es requerido reducir la magnitud de los lóbulos secundarios, esto se logra con un diseño adecuado. [8]

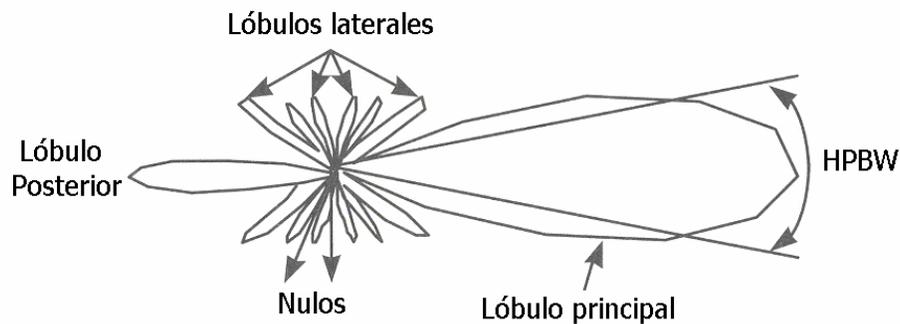


Figura 3.1 Patrón de radiación para una antena genérica. [4]

Potencia radiada

Es la integral del vector de Poynting en una superficie cerrada que envuelve totalmente la fuente de radiación (antena). [8]

$$P = \oint \mathbf{S} \cdot d\mathbf{a} = P_{rad} + jP_x \quad \text{Ec. 8}$$

La potencia radiada es una cantidad compleja, la parte real es la *potencia radiativa* (P_{rad}) y la parte real es la *potencia reactiva* (P_x). La potencia radiativa se transfiere a un medio y la reactiva no. Ésta última no se puede aprovechar para transmitir energía. [8]

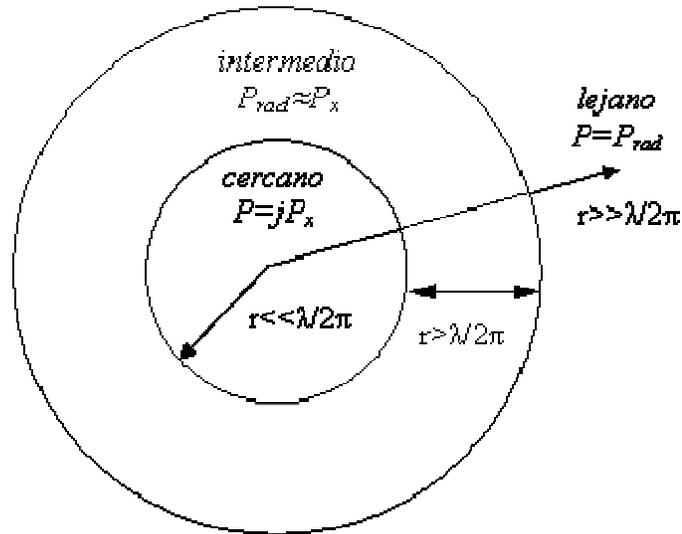


Figura 3.2. Campos de la antena en base a la potencia radiada. [8]

En el campo cercano la mayor parte de la potencia es reactiva y no hay transferencia al medio, en el campo lejano la potencia es fundamentalmente radiativa y se puede transmitir al medio. La región entre estos dos campos es la del campo intermedio, donde las magnitudes de las dos componentes de potencia son similares. [8]

Intensidad de radiación

Es la potencia radiada, parte real de la potencia, por una antena en dirección dada por unidad de ángulo sólido. Sus unidades son W/steradian, y está definida de la siguiente manera:

$$U = r^2 S \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

U = Intensidad de radiación

r = Radio de la superficie de la que se calcula la intensidad de radiación

S = Densidad de potencia

Anchos de haz

Hay algunos parámetros que ayudan a comparar los patrones de radiación y están definidos como sigue:

Ancho de haz entre los primeros nulos (FNBW): Es el tamaño angular del lóbulo principal, como se muestra en la Figura 3.3.

Ancho de haz de media potencia (HPBW): medida angular en la cual se radia el 50% de la potencia, de igual manera se muestra en la Figura 3.3.

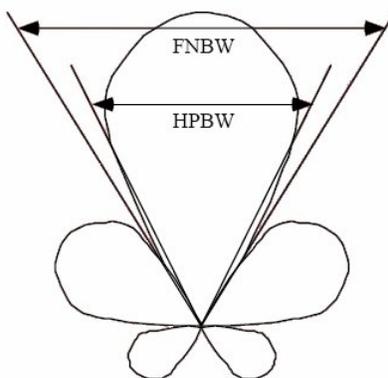


Figura 3.3. Anchos de haz [6]

Resistencia de radiación

El circuito equivalente de un transmisor y su antena asociada es mostrado en la Figura 3.4. La parte resistiva de la impedancia de la antena es en dos partes, una resistencia de radiación R_R y una resistencia perdida R_l . La potencia disipada en la resistencia de radiación. [2]

Para tener una máxima transferencia de potencia se debe de acoplar la impedancia de entrada con la de la línea de transmisión. Es una componente ficticia como se muestra en el circuito a continuación: [2]

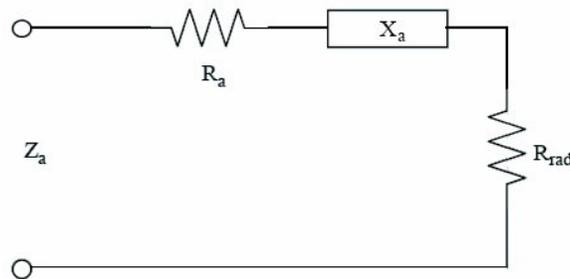


Figura 3.4. Resistencia de radiación [2]

Directividad

La definición literal de la directividad es: “razón de la intensidad de radiación en una dirección dada a la intensidad de radiación promediada en todas direcciones.”

La directividad D de una antena, es una función de la dirección, definida por:

$$D(\theta, \phi) = \frac{\text{Intensidad de la radiación de la antena en dirección } (\theta, \phi)}{\text{Intensidad media de la radiación en todas direcciones}}$$

Ec. 10 [4]

Eficiencia

Medida de las pérdidas de potencia en una antena por: [2]

- Disipación en conductores y dieléctrico
- Reflexión por mal acoplamiento
- Polarización inadecuada
- Área eléctrica menor a la física

$$0 \leq e \leq 1$$

Ganancia

La ganancia de una antena es el producto de la directividad por la eficiencia:

$$\mathbf{G} = eD \quad \mathbf{Ec. 11 [2]}$$

3.3 Arreglos de antenas (Ventajas y Características)

Cuando se desea mejorar alguna o varias de las características de una antena se pueden modificar sus dimensiones físicas, el material del que está hecha o en general el diseño que se utilizó para fabricarla. Pero en algunas ocasiones se obtienen mejores resultados, en las mejoras o cambios que se quieren realizar, si se utiliza un arreglo de antenas. Esto ya que cada uno de los elementos del arreglo contribuye a mejorar las características de la antena.

Antenas Yagi

Un mejoramiento basado en un arreglo para mejorar la directividad de la antena de dipolo es usar elementos parásitos. Los elementos parásitos son montados cerca al dipolo conductor y no están conectados directamente a la fuente. Al mismo tiempo, el campo de radiación de un elemento conductor produce corrientes en ellos, causando que estos radien por turno. La forma clásica de esa antena es la *Uda-Yagi*, o simplemente antena *Yagi*. Como se muestra en la Figura 3.5. [4]

Típicamente el elemento conductor (activo) está hecho un poco más corto que $\lambda/2$, para permitir una buena coincidencia a los 50Ω . Los elementos en la dirección de la radiación, llamados directores, son hechos un poco más pequeños que el elemento conductor, y un elemento muy cercano a $\lambda/2$ está situado a un lado y es llamado reflector. Incrementando el número de directores incrementa la ganancia, aunque el mejoramiento disminuye de acuerdo a que tan lejos el reflector está del elemento conductor. Una Yagi de 4 directores puede tener una ganancia algo arriba de alrededor 12dbi. [4]

El análisis convencional el cual considera la antena Yagi estrictamente como una antena resonante es adecuado para el diseño práctico de antenas Yagi cortas que consten de tres o cuatro elementos directores. En el caso de antenas Yagi largas, donde el número de elementos tal vez sea grande, el diseño de la antena de acuerdo a este método se torna complicado, sino es que imposible. Como sea, la antena Yagi larga y uniforme tiene que ser diseñada de una manera simple, considerándola como una antena de propagación de ondas.

Se puede mostrar que cuando la antena es diseñada para tener la máxima ganancia, el nivel del lóbulo lateral en su patrón de radiación baja 9.32dB, sin tener que ver la longitud de la antena. Esta razón de cambio deberá ser mejorada arriba de un límite teórico de 13.2dB, pero con un considerable sacrificio en la ganancia de la antena. [4]

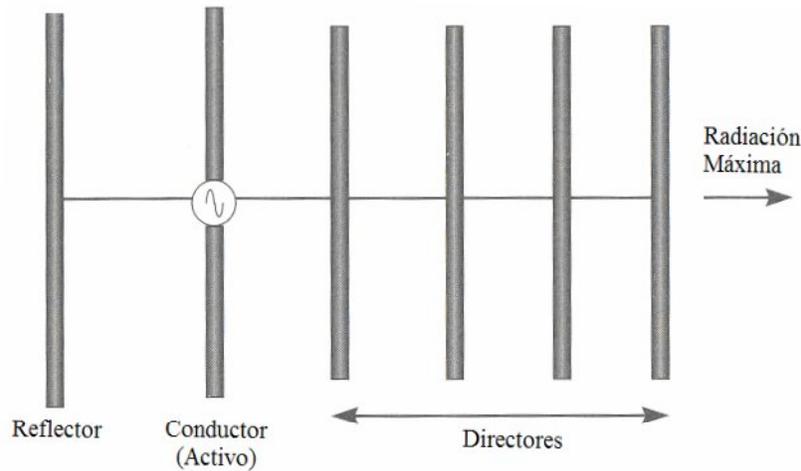


Figura 3.5. La antena Uda-Yagi [4]

Antenas Logarítmicas

Esta configuración de antena es muy cercana al concepto de antenas de frecuencia independiente, que son antenas cuya geometría es únicamente definida por ángulos. Ya que la forma completa de una antena logarítmica no puede ser especificada solamente por ángulos, no es totalmente una antena de frecuencia independiente. Esta estructura fue introducida por DuHamel e Isbell. En la Figura 3.6 se muestra la estructura de una antena logarítmica, así como el patrón de radiación sugerido para la estructura. [1]

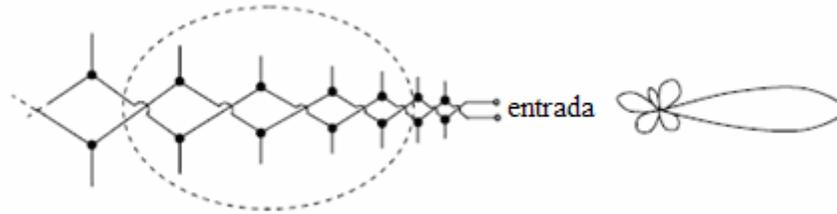


Figura 3.6. Estructura de la antena logarítmica y su patrón de radiación.

Consiste de tiras de metal, en el caso de las antenas logarítmicas microstrip, cuyas orillas están especificadas por el ángulo $\alpha/2$. Sin embargo, para poder especificar la distancia del origen a cualquier parte de la estructura, una distancia de la característica debe ser incluida.[1]

3.4 Antenas de Microstrip

Así como se ve en la Figura 3.7 este tipo de antenas están basadas en la tecnología de circuito impreso para crear estructuras radiantes planas sobre un dieléctrico, un plano de substratos de tierra. El atractivo de dichas estructuras está en permitir antenas compactas con costo de manufacturación bajo y alta confiabilidad. [4]

En el parche rectangular, la longitud L es típicamente arriba de la mitad de la longitud de onda del espacio libre. La onda incidente suministrada en la línea de alimentación crea una resonancia fuerte dentro del parche, llevando a una distribución específica de los campos en la región del dieléctrico inmediatamente debajo del parche, en

el cual los campos eléctricos son aproximadamente perpendiculares a la superficie del parche y los campos magnéticos paralelos a ella. Los campos alrededor de las orillas del parche crean la radiación, con contribuciones de las orillas, agregando como si constituyeran un arreglo de cuatro elementos. [4]

El patrón de radiación resultante puede ser variado sobre un rango amplio alterando la longitud L y el ancho W , pero un patrón típico es mostrado en la siguiente figura. Además de que se muestra también una antena *microstrip* de parche. [4]

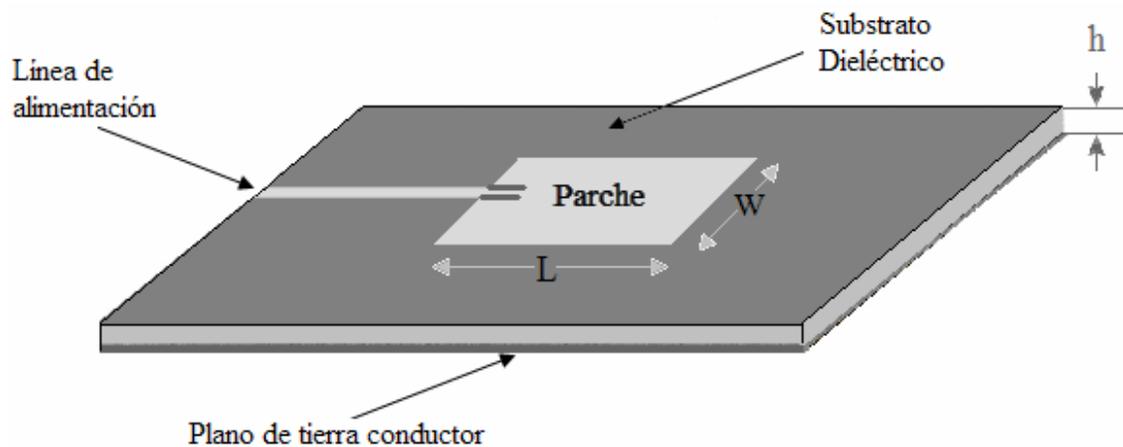


Figura 3.7. Antena *microstrip* de parche. [4]

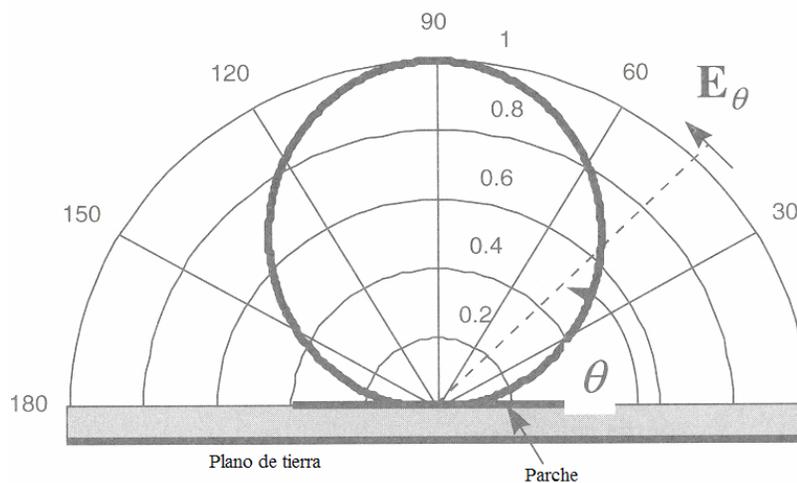


Figura 3.8. Patrón típico de radiación de la antena de parche. [4]

Ventajas de las antenas *microstrip*: [3]

- ⊗ Pequeño tamaño y poco peso
- ⊗ Ajustable a superficies no planas
- ⊗ Fabricación sencilla y económica a gran escala
- ⊗ Robustez mecánica (montado en superficies rígidas)
- ⊗ Sencillez de realización de arrays
- ⊗ Fácil integración en equipos y circuitos
- ⊗ Adecuado para diseño CAD

Desventajas de las antenas *microstrip*: [3]

- ⊗ Estructura resonante con pequeño ancho de banda
- ⊗ Pérdidas en el sustrato (precisa sustratos de calidad $\tan\delta < 0.002$)
- ⊗ Poca pureza de polarización
- ⊗ Limitaciones de potencia

Existen dos modelos que nos sirven para comprender el comportamiento de las antenas *microstrip*, a continuación se describen estos dos modelos.

Modelo de Línea de Transmisión [4]

Básicamente el modelo de línea de transmisión representa la antena microstrip por dos ranuras, separadas por una línea de transmisión con impedancia Z_c y de longitud L .

Como las dimensiones del parche son finitas a lo largo de su longitud y ancho, los campos en las orillas del parche se van bordeando. La cantidad de bordes es función de las dimensiones del parche y de la altura del sustrato. Para el plano principal E (plano xy) los bordes son función de la razón de la longitud L del parche y la altura h del sustrato (L/h) y de la constante dieléctrica ϵ_r del sustrato. Ya que para las antenas microstrip $L/h \gg 1$, el efecto de bordes es reducido; sin embargo, tiene que ser tomado en cuenta porque influye en la frecuencia resonante de la antena. Lo mismo aplica para el ancho.

Para una línea de microstrip, que se muestra en la Figura 3.9, las líneas típicas del campo eléctrico se muestran en la Figura 3.10. Esta es una línea no-homogénea de dos dieléctricos, el sustrato y el aire. Como se puede ver, casi todas las líneas del campo eléctrico residen en el sustrato y partes de las líneas existen en el aire. Así como $W/h \gg 1$ y $\epsilon_r \gg 1$, las líneas del campo eléctrico se concentran mayormente en el sustrato. Las discontinuidades hacen que la línea de microstrip se vea eléctricamente más angosto comparado con sus dimensiones físicas. Ya que algunas de las ondas viajan en el sustrato y algunas en el aire, una constante dieléctrica efectiva ϵ_{reff} es introducida para tomar en cuenta las discontinuidades y la propagación de las ondas en la línea.

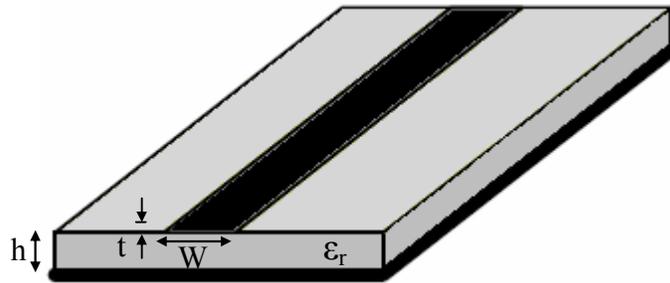


Figura 3.9. Línea de microstrip.

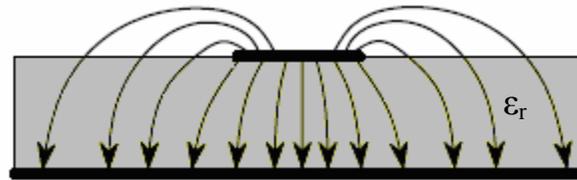


Figura 3.10. Líneas de campo eléctrico.

Para frecuencias bajas la constante dieléctrica efectiva es esencialmente constante. A frecuencias intermedias sus valores comienzan a incrementarse y eventualmente comienzan a acercarse al valor de la constante dieléctrica del sustrato. Los valores iniciales de la constante dieléctrica efectiva son referidos como valores estáticos, y están dados por:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad \text{Ec. 12 [1]}$$

Donde:

ϵ_{reff} = constante dieléctrica efectiva

ϵ_r = permitividad del sustrato

h = grosor del sustrato

W = ancho del parche

Por el efecto de bordes, eléctricamente el parche de la antena microstrip se ve más grande que sus dimensiones físicas. Para el plano principal E (plano xy), lo anterior está demostrado, y se muestra en la Figura 3.11, donde las dimensiones del parche a lo largo de su longitud han sido extendidas en cada extremo por una distancia ΔL , la cual es función de la constante dieléctrica efectiva ϵ_{reff} y de la razón ancho-largo (W/h). La siguiente ecuación es una relación aproximada para la extensión normalizada de la longitud:

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{\left(\epsilon_{reff} + 0.3 \right) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{\left(\epsilon_{reff} - 0.258 \right) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad \text{Ec. 13 [1]}$$

Donde:

ΔL = distancia extendida

ϵ_{reff} = constante dieléctrica efectiva

h = grosor del sustrato

W = ancho del parche

Así como la longitud del parche ha sido extendida a ΔL en cada lado, la longitud efectiva (L_{eff}) del parche es ahora:

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad \text{Ec. 14 [1]}$$

Para el modo dominante TM_{010} , la frecuencia resonante de la antena microstrip es una función de su longitud y está dada por:

$$(f_r)_{010} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{Ec. 15 [1]}$$

Donde:

f_r = frecuencia resonante

v_0 = velocidad de la luz

L = longitud del parche

ϵ_r = permitividad del sustrato

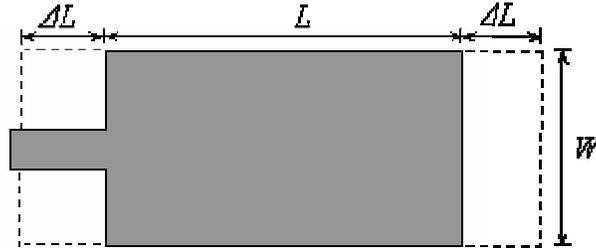


Figura 3.11. Vista desde arriba del parche.

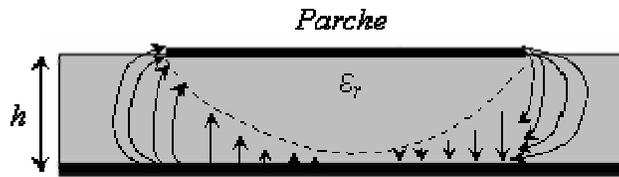


Figura 3.12. Vista de un lado del parche.

Modelo de Cavidad [4]

Las antenas microstrip se asemejan a cavidades con cargas dieléctricas, y exhiben un mayor número de resonancias. Los campos normalizados dentro del substrato dieléctrico (entre el parche y el plano de tierra) pueden ser encontrados más exactamente tratando esa región como una cavidad rodeada de conductores eléctricos y paredes magnéticas a lo largo del perímetro del parche. Este es un modelo aproximado, que en principio conduce a una impedancia de entrada reactiva, y que no irradia ninguna potencia.

A continuación se presenta una interpretación física de la formación de los campos dentro de la cavidad y la radiación a través de sus paredes laterales. Una antena microstrip rectangular puede ser representada usando el modelo de cavidad como el arreglo de dos aperturas (ranuras) angostas y radiantes, cada una con un ancho W y una altura h , separadas por una distancia L . Cuando el parche microstrip es energizado, una distribución de carga es establecida en la parte superior e inferior del parche, así como en la superficie del plano de tierra, como se muestra en la Figura 3.13. La distribución de carga es controlada por dos mecanismos, uno de atracción y otro de repulsión. El mecanismo de atracción está entre las cargas opuestas correspondientes en el lado inferior del parche y del plano de tierra, que ayuda a mantener la concentración de carga en la parte inferior del parche. Y el mecanismo de repulsión está en medio como cargas en la superficie inferior del parche, lo que tiende a empujar algunas cargas de abajo del parche, alrededor de sus bordes, hacia su superficie. El movimiento de estas cargas crea densidades de corriente correspondientes \mathbf{J}_b y \mathbf{J}_t , en las caras superior e inferior del parche, respectivamente, como se muestra en la Figura 3.13.

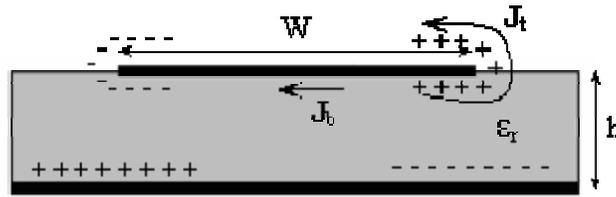


Figura 3.13. Distribución de carga y creación de densidad de corriente en un parche microstrip. [1]

Cuando la razón ancho-largo es muy pequeña, el mecanismo de atracción predomina y la mayoría de la concentración de la carga y el flujo de corriente permanece por debajo del parche. Una pequeña cantidad de corriente fluye alrededor de los bordes del parche hacia su superficie. Sin embargo, este flujo de corriente disminuye conforme la razón ancho-largo decrementa.

Antena Yagi Microstrip [5]

La antena Yagi *microstrip* ha sido utilizada en muchas aplicaciones en los últimos 15 años. John Huang introdujo el primer diseño de estándar en 1989 para aplicaciones satelitales móviles (MSAT), que requirieron una antena de bajo costo, de perfil bajo, que cubriera una amplitud de rayo de 40° entre 20° a 60° en el plano de elevación. [5] Las principales ventajas de un arreglo Yagi impreso son la facilidad de integrarlo con otra circuitería de RF y la habilidad de producir radiación “*quasi-endfire*”. La antena impresa *microstrip* Yagi convencional consiste de cuatro elementos parche: un parche reflector, un elemento conductor, y dos parches directores. Los elementos son puestos en una línea uno seguido

del otro en el siguiente orden: reflector – conductor (activo) – director 1 – director 2. La distancia entre los elementos tiene que ser cercana suficiente para acoplar los campos electromagnéticos del elemento conductor a los elementos restantes. [5] El espacio centro a centro entre los elementos es una función de la longitud de onda del espacio libre, λ_0 , no la longitud de onda guiada, λ_g . Esto está asociado con la radiación en el espacio libre de la antena. Mucho progreso en el diseño de *microstrip* Yagi se ha hecho en los años después de que el estándar de *microstrip* Yagi fue propuesto, incluyendo el manejo mecánico de la transmisión, el manejo eléctrico de la transmisión, el estudio paramétrico de los arreglos Yagi, etc. A pesar de estos avances, muchos de los diseños presentados han sido prácticos para aplicaciones debajo de los 15GHz. [5]