






Monitoreo de los procesos de desertificación con el uso de imágenes de radar

Héctor F. del Valle






delvalle@cenpat.edu.ar
hfdelvalle@gmail.com

Rosario, Argentina, 19 al 23 de Abril de 2010





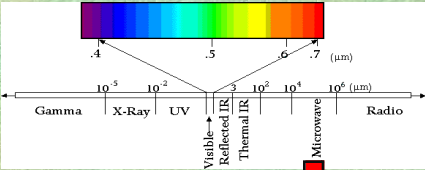


Espectro Electromagnético

La frecuencia EM está dada por:

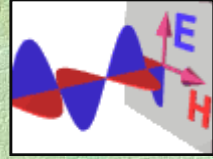
$$f = c / \lambda$$

Los nombres de las bandas (P, L, C, X) corresponden cada una a un rango de frecuencias determinado.



Band	Wavelength (cm)	Frequency (GHz)
Ka	0.8-1.1	40.0-26.5
K	1.1-1.7	26.5-18.0
Ku	1.7-2.4	18.0-12.5
X	2.4-4.8	12.5-8.0
C	4.8-7.5	8.0-5.0
S	7.5-15.0	5.0-2.0
L	15.0-30.0	2.0-1.0
P	30.0-100.0	1.0-0.3

BAND	P	L	S	C	X	K	Q	V	W
FREQUENCY (GHz)	0.39	1.0	3.0	5.75	10.9	30.0	46	56	100.0
WAVELENGTH (cm)	100	30	10	3	1	0.3			
TYPICAL VALUES	70	23	10	5.6	3	Ka			
	P	L	S	C	X				



Definición y conceptos básicos



Funciones del radar:

- Detección de señales reflejadas por objetos deseados (blancos).
- Extracción de información relativa al blanco.



Problemas de detección de blancos radar

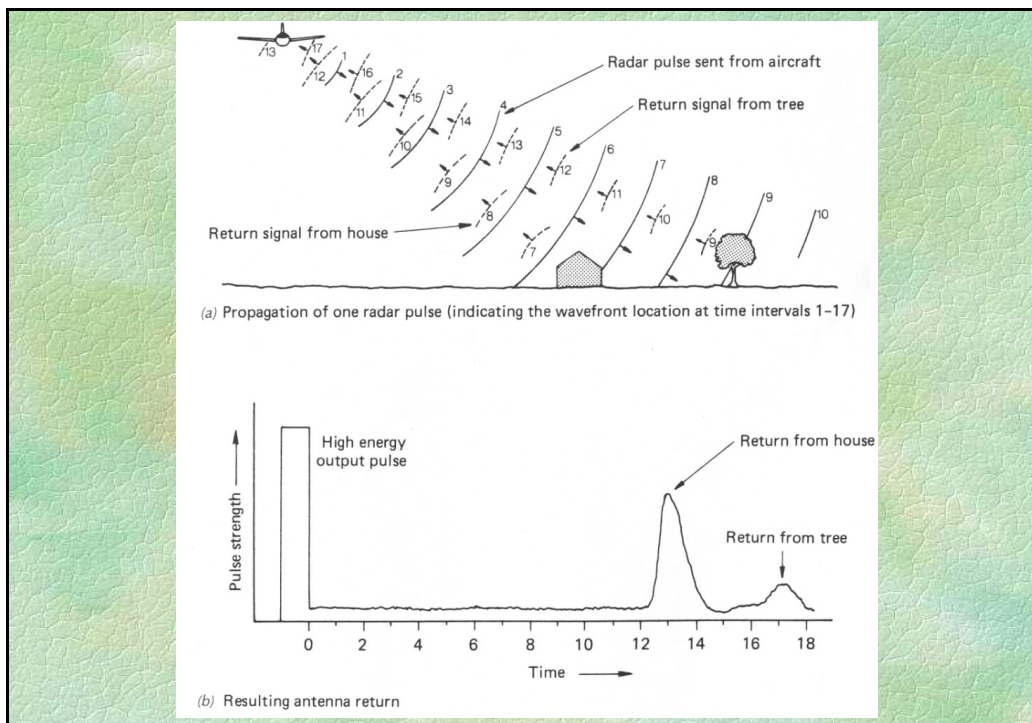
- Señal ruidosa: fuentes radiantes externas captadas por la antena y ruido térmico generado por componentes de la cadena receptora.
- Blancos no deseados ("clutter").
- Señales de RF en la banda de frecuencias del sistema radar.



Extracción de información relativa al blanco ⇒ Problema de estimación



Sistemas radar como clasificadores: Test de múltiples hipótesis



Clasificación de los sistemas radar



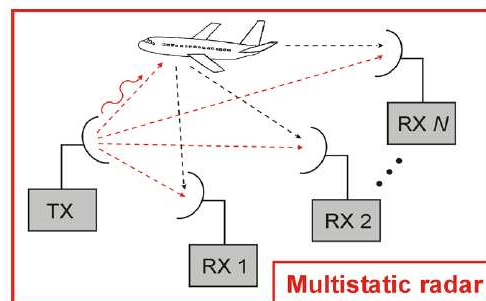
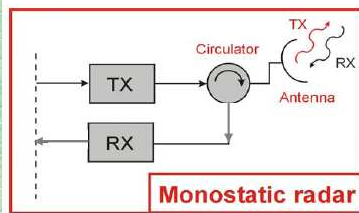
Según el tipo de blanco:

- **Primarios:** La señal recibida es el resultado de la reflexión o dispersión de la onda transmitida por el propio sistema al incidir sobre un objeto.
- **Secundarios:** sistemas de identificación de blancos en los que se transmite una señal codificada, esperando respuesta del blanco.



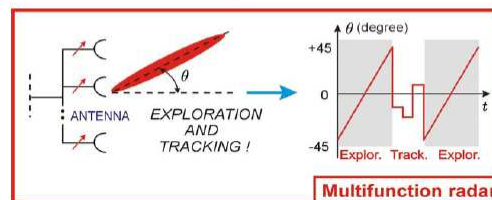
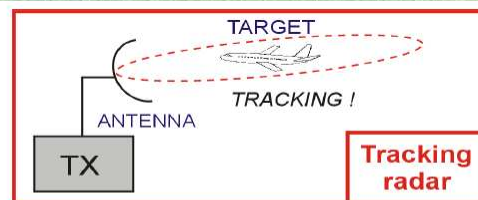
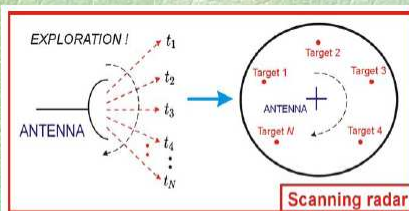
Según la posición relativa del transmisor y el receptor:

- **Monoestáticos:** Transmiten y reciben a través de una antena común.
- **Multiestáticos:** Dos o más antenas transmisoras o receptoras separadas distancias mayores que su tamaño.



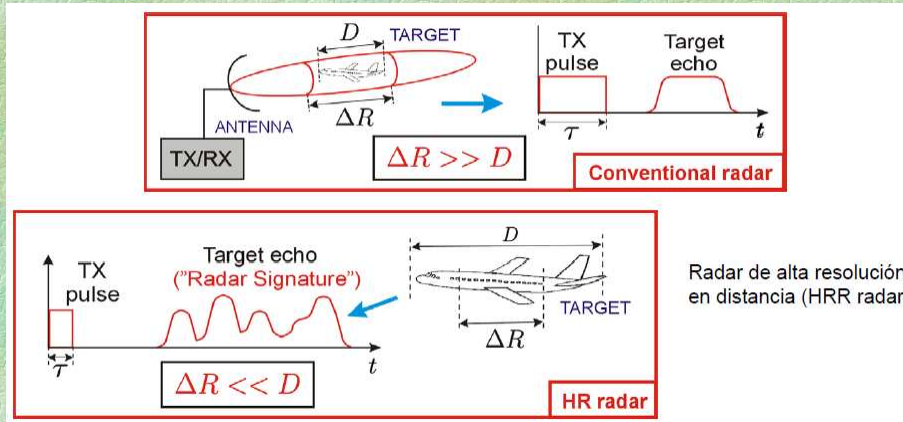
Según su finalidad:

- **De vigilancia o exploración** (scanning radar)
- **De seguimiento** (tracking radar)
- **Multifunción**



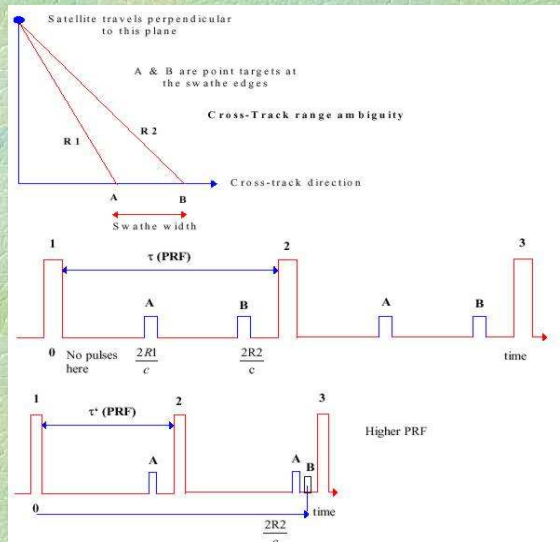
Según su resolución:

- **Convencionales:** blanco puntual
- **Alta resolución:** HRR y **SAR**



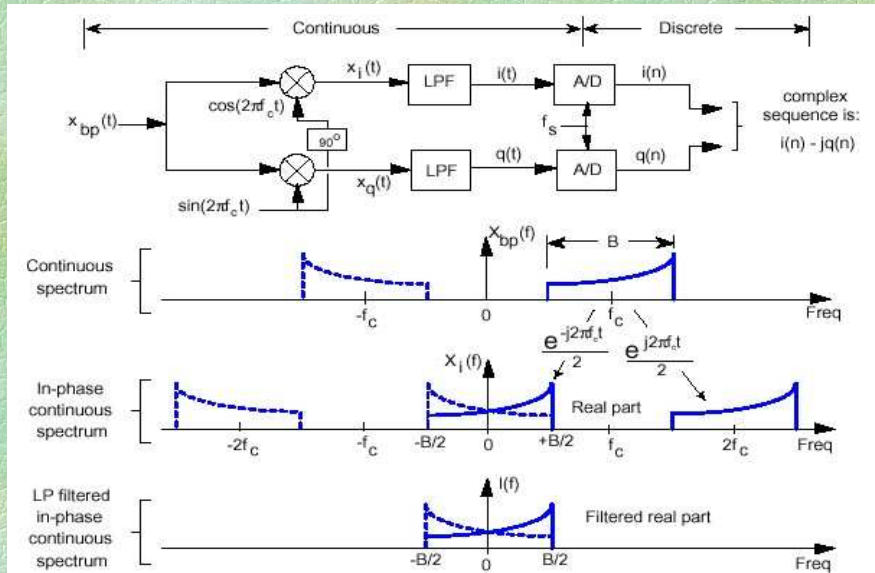
La señal

Sucesión de pulsos



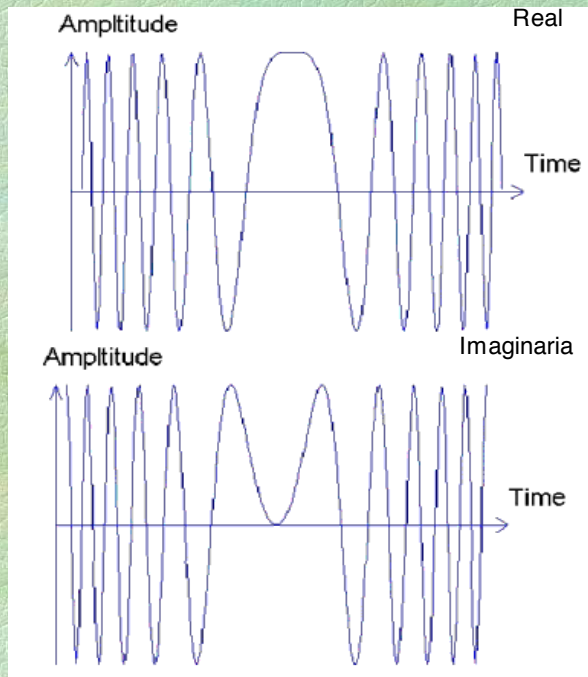
$$13-4) \cos(\omega t + \varphi) \cos(\omega t) = \frac{\cos(2\omega t + \varphi) + \cos(\varphi)}{2}$$

Sucesión de pulsos

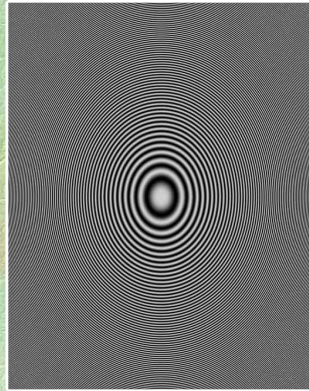


CHIRRIDO o CHIRP

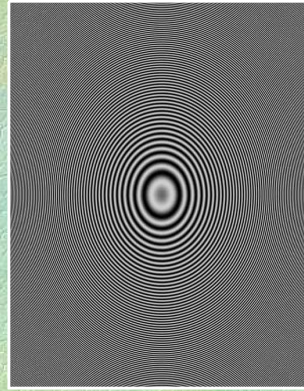
Codificación común de la **fase o modulación** aplicada al pulso de un radar formador de imágenes. **La fase resultante es cuadrática** con respecto al tiempo, por lo tanto tiene una **derivada lineal**. Por ello, esta codificación también es llamada **modulación lineal** de la frecuencia o FM lineal.



Respuesta de un punto

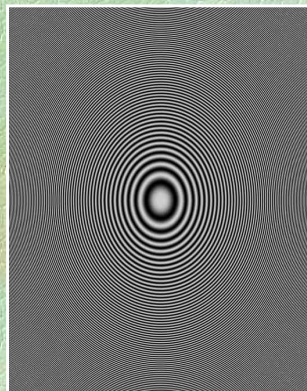


Parte real de la señal recibida para un chirp down.

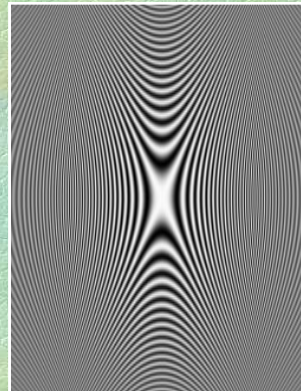


Parte imaginaria de la señal recibida para un chirp down.

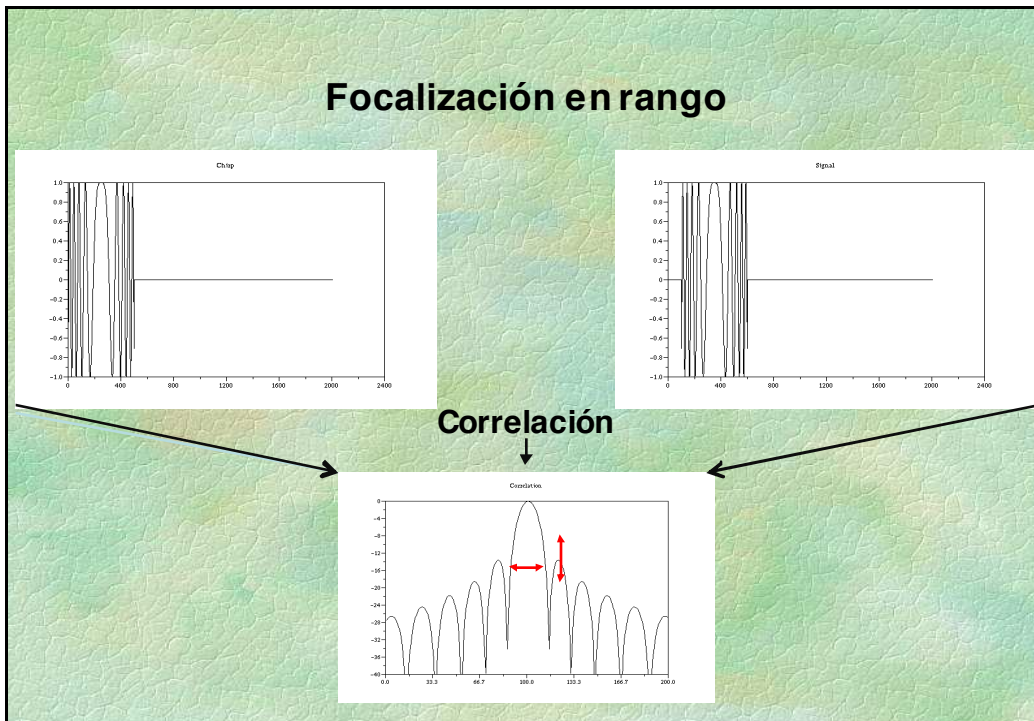
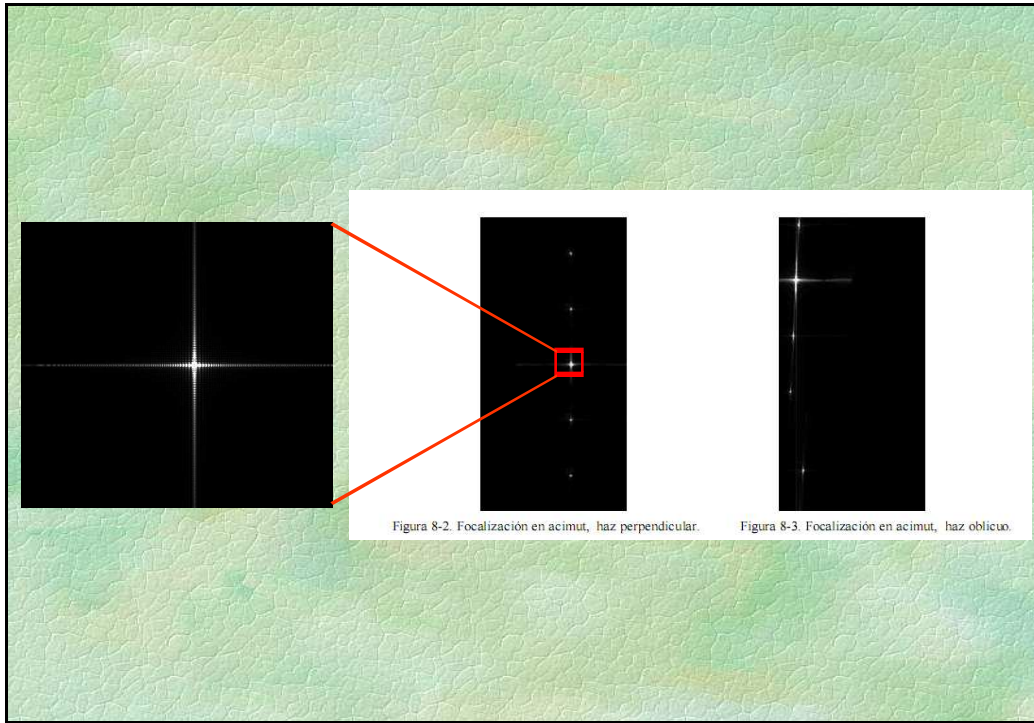
Respuesta de un punto



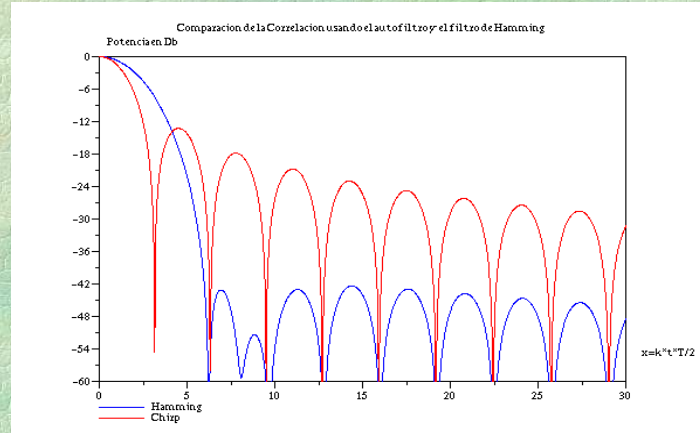
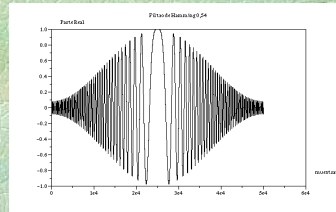
Parte real de la señal recibida para un chirp down




Parte real de la señal recibida para un chirp up




Filtro de Hamming



¿Por qué es importante conocer la Ecuación Radar?




-  Útil para **determinar** la máxima distancia a la que un determinado radar puede **detectar** un blanco y para **entender** los factores que **afectan** al funcionamiento del radar.

SECCIÓN TRANSVERSAL DE RADAR (RCS) - radar cross section







 Medida de la reflectividad que detecta un radar. **RCS** es expresada en términos del tamaño físico de una **esfera hipotética de reflexión uniforme** que **generaría el mismo nivel de reflexión que el objeto que se observa.**

- La RCS de un blanco es función de la frecuencia, las polarizaciones de las antenas transmisoras y receptoras y del ángulo de aspecto del blanco (excepto en el caso de una esfera).
- Para algunas aplicaciones, como análisis estadísticos de detección, se describe por su valor medio (en ocasiones por su mediana) y propiedades estadísticas sobre un rango apropiado de uno o más de esos parámetros.
- Sinónimos: **backscatter cross section; bi-static-scatter cross section; effective echoing area; forward scattering cross section.**

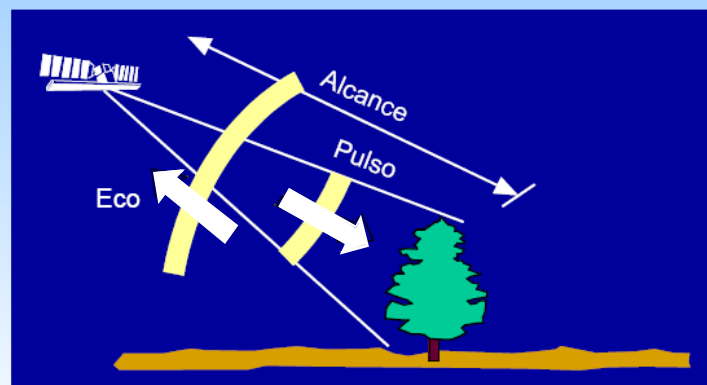
Caracterización de las propiedades dispersoras de los blancos

-  **Caracterización del blanco mediante medidas.**
-  **Utilización de la Teoría Electromagnética:** Se descompone el blanco en numerosos objetos dispersores y se calcula la sección radar de la agrupación.
-  **Modelo matemático:** Blanco genérico compuesto por numerosas superficies reflectantes de orientación arbitraria, que se modela como un blanco puntual con sección radar aleatoria.

¿Qué es el Radar de Apertura Sintética (SAR)?

-  Es un sistema de radar de iluminación lateral que produce una imagen de resolución fina de la superficie bajo observación.
-  Al moverse a lo largo de su trayectoria, el radar ilumina hacia un lado de la dirección de vuelo franjas continuas y paralelas entre sí, de la superficie en estudio y acumula la información de las microondas que se reflejan.
-  La distancia entre el radar y el objetivo en la superficie en la dirección perpendicular al vuelo, se le llama alcance.
-  Se le conoce como azimut a la distancia a lo largo de la trayectoria.
-  En un sistema de radar, la resolución tiene dos dimensiones, una en la dirección del alcance y otra en la del azimut.
-  Mediante un procesamiento digital de la señal, la imagen puede enfocarse y obtenerse así, una resolución mejor que la de un radar convencional.

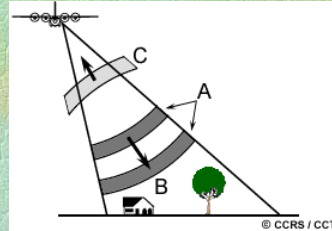
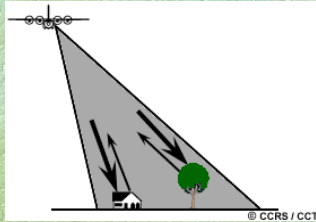
RADAR - Radio Detección And Ranging detección y localización por radio



MICROONDA- microwave
Onda electromagnética con longitud de 1 a 100 cm.

Fuente: 

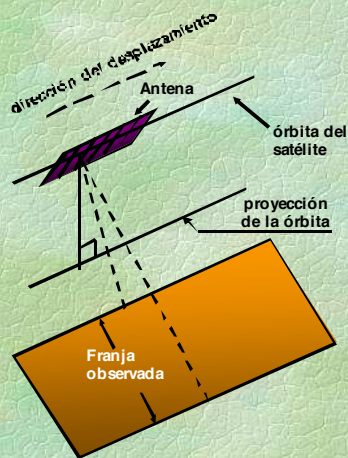
RADAR = RADio Detection And Ranging



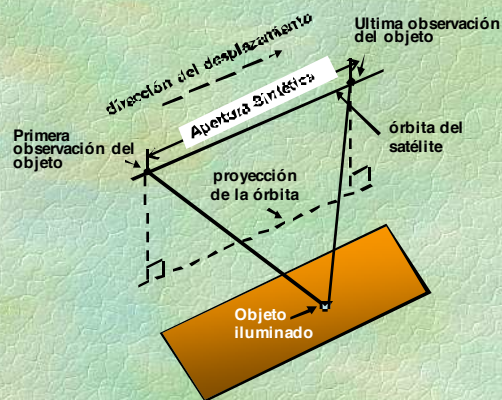
radar = sensor electromagnético para la detección y localización por ondas de radio. Consta de un **transmisor**, **antena** (que se usa para la transmisión y recepción), el **receptor** y el **equipo para la manipulación de datos**.

El **transmisor** genera sucesivos pulsos de microondas (A), “arrebatos cortos de energía”, en intervalos regulares los cuales son focalizados por la antena dentro del haz iluminado (B), *beam* en inglés.

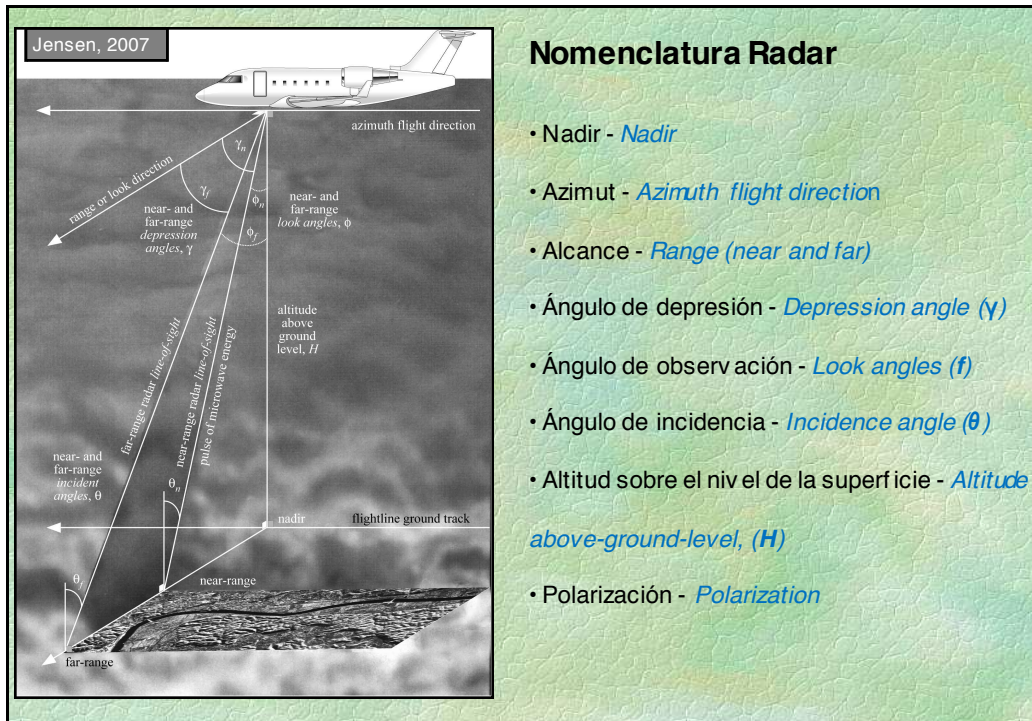
La **antena** recibe una porción de la energía transmitida reflejada o retrodispersada (*backscattered* en inglés) de varios objetos dentro del haz iluminado (C).





Representación esquemática de la antena del radar, la dirección de desplazamiento del satélite y la superficie iluminada.



La figura muestra la Apertura Síntetica de un radar (SAR), dada por la distancia recorrida por el satélite entre el instante en que el radar comienza a visualizar un objeto y el instante en que deja de verlo.



 **Blanco (target)**, en sentido amplio, es cualquier objeto que **interfiere** con la onda **transmitida** y **dispersa** parte de su energía al sistema radar.

 Se distingue entre **blanco**, objeto que se desea detectar, y **“clutter”**, objetos no deseados que también interceptan la energía del radar y la dispersan.


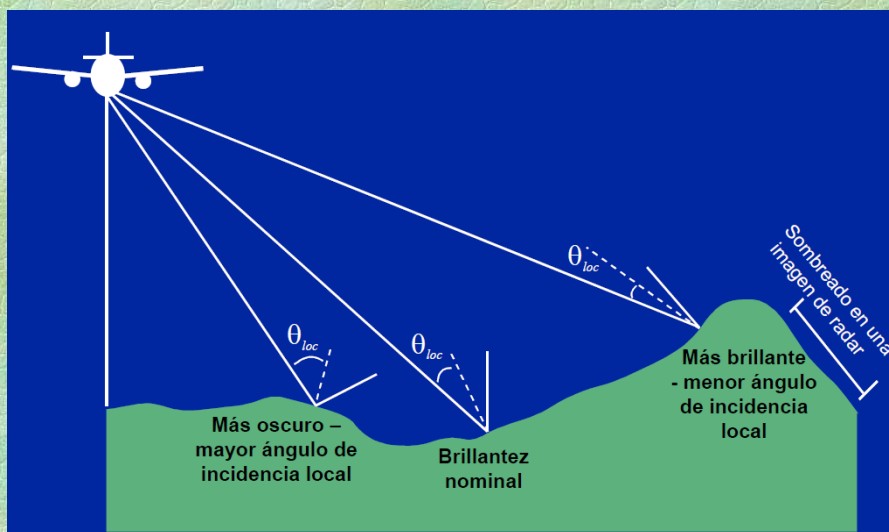
 **Clutter**: reflexiones del mar, la tierra, los meteoros, la aurora o las producidas por chaff (tiras de material metalizado que se lanzan en grandes cantidades para simular un blanco o crear una señal de clutter muy potente que enmascare la detección de un blanco deseado).

Diagrama de radiación de la antena Patrón de la antena con respecto a la elevación

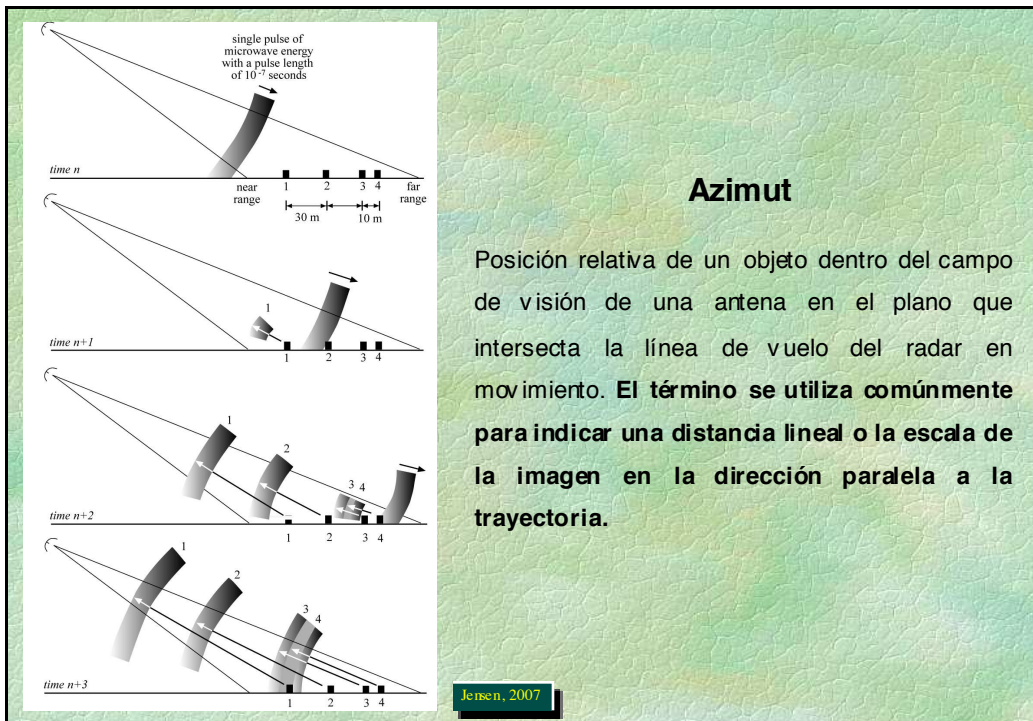
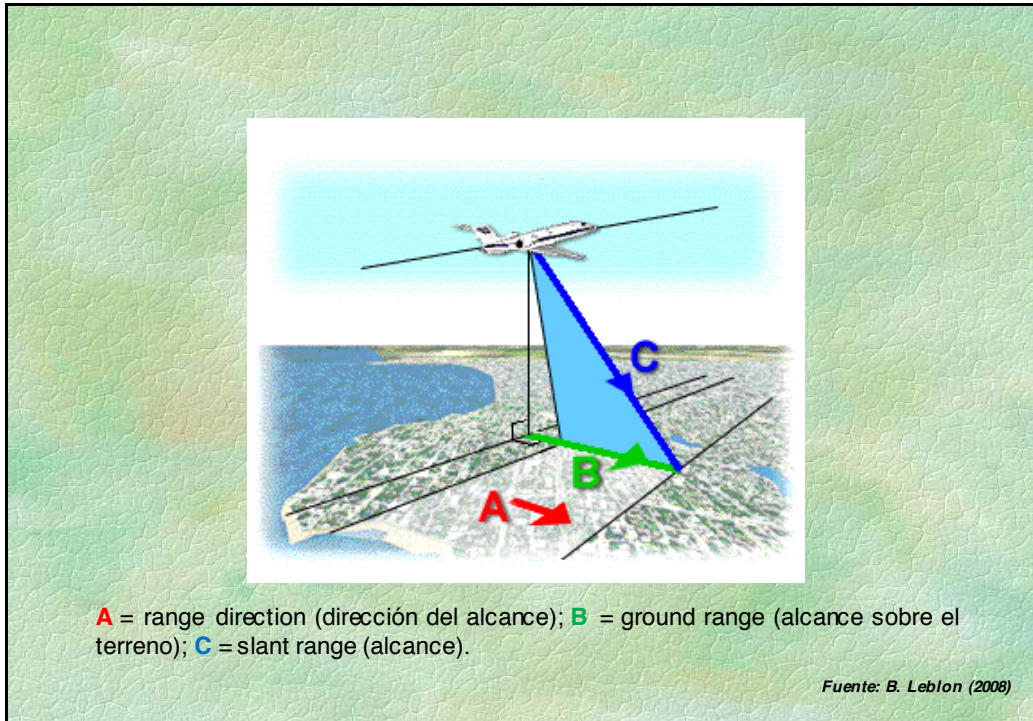


- Variación en la iluminación, en la dirección transversal a la trayectoria
- Esencial para la calibración radiométrica: corrección para la variación de la ganancia dentro del haz y entre los haces; y contribución muy importante al balance radiométrico.
- Se determina el patrón de la antena en función de la elevación de forma independiente, luego se aplica el resultado a cada imagen en el procesador
- Se realiza antes de que el usuario reciba los datos; el usuario no necesita **generalmente** hacer nada de esto




Fuente: GLOBE SAR



Fuente: GLOBE SAR



RESOLUCIÓN EN LA DIRECCIÓN DEL AZIMUT - azimuth resolution

-  Resolución característica de la dimensión del azimut, comúnmente en el dominio de la imagen.
-  La resolución en la dirección del azimut está fundamentalmente limitada por el ancho de banda Doppler del sistema.
-  Generalmente se utiliza un ancho excesivo de banda Doppler para permitir observaciones suplementarias, a expensas de la resolución.

Azimuth -Azimuth Resolution

Fortunately, the beam width is also inversely proportional to antenna length (L). This means that the longer the radar antenna, the narrower the beam width and the higher the azimuth resolution. The relationship between wavelength (λ) and antenna length (L) is summarized below, which can be used to compute the azimuth resolution:

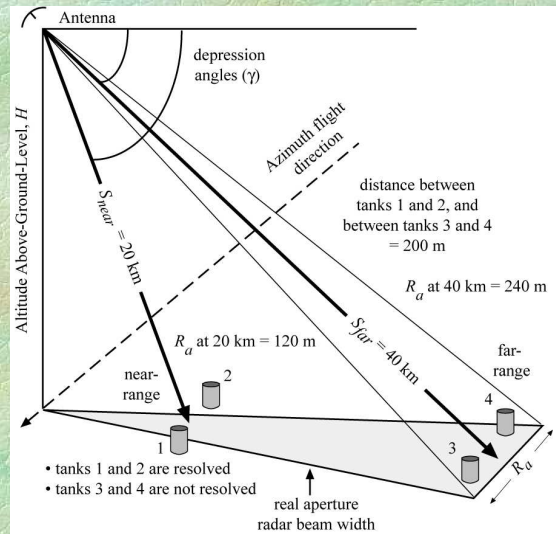
$$R_a = \frac{S \times \lambda}{L}$$

where S is the slant-range distance to the point of interest.

ALCANCE - range, slant range

Distancia sobre la línea de visión entre el radar y cada reflector iluminado. El término también se aplica a la dimensión de una imagen en la dirección perpendicular al vuelo del radar. Ya que el SAR ve hacia abajo y hacia los lados la transformación del alcance (**slant range**) al alcance sobre el terreno (**ground range**) tiene una escala geométrica inherente, que cambia a lo largo del área iluminada.

Azimuth -Azimuth Resolution



Jensen, 2007

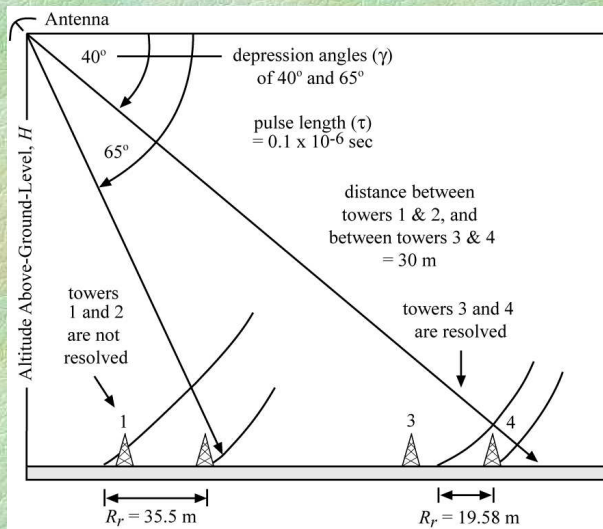
Range Resolution

The *range resolution* (R_r) at any point between the near and far-range of the illuminated strip can be computed if the depression angle (γ) of the sensor at that location and the pulse length (τ) are known. It is possible to convert pulse length into distance by multiplying it times the speed of light ($c = 3 \times 10^8$ m sec⁻¹). The resulting distance is measured in the slant-range previously discussed. Because we want to know the range resolution in the ground-range (not the slant-range) it is necessary to convert slant-range to ground-range by dividing the slant-range distance by the cosine of the depression angle (γ). Therefore, the equation for computing the *range resolution* is:

$$R_r = \frac{\tau \times c}{2 \cos \gamma}$$

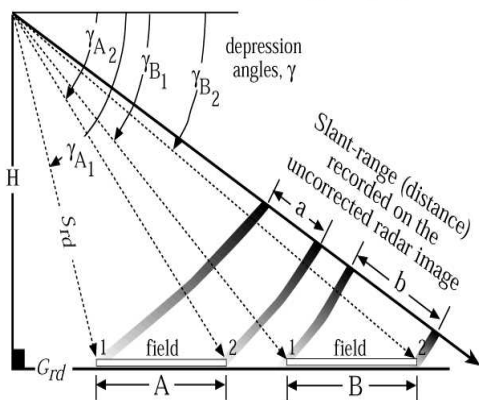
Jensen, 2007

Range Resolution



Jensen, 2007

Slant-Range Display versus Ground-Range Display



Ground-range (distance) on corrected radar image

Jensen, 2007

ALCANCE – Range, Slant Range

Distancia sobre la línea de visión entre el radar y cada reflector iluminado (**sentido único**).

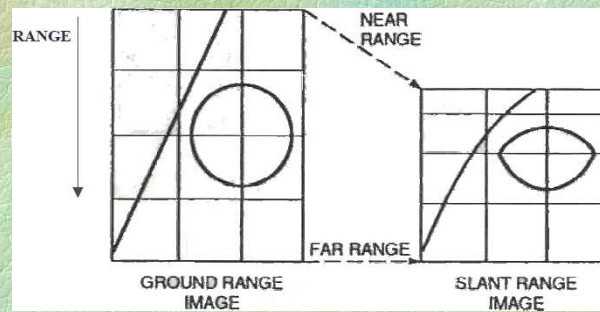
ALCANCE SOBRE EL TERRENO – Ground Range

Distancia en la dirección del alcance proyectada sobre el plano de referencia horizontal.

La proyección del alcance sobre el terreno requiere una transformación geométrica, lo que conduce al desplazamiento de la elevación o de relieve, al escorzo y a la inversión por relieve, si no se emplea información sobre la elevación del terreno.

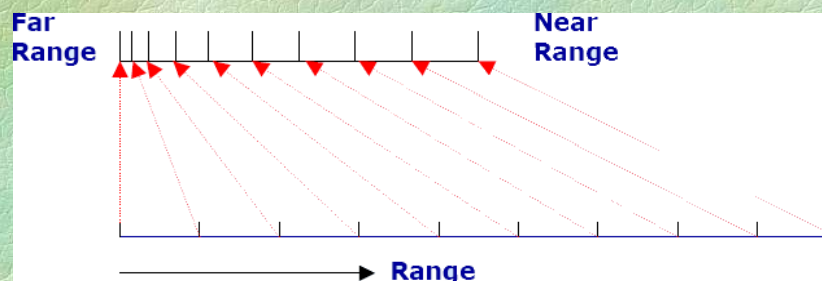
Imagen en slant range distorsionada

- En SAR el ángulo de incidencia varía a lo largo del rango, y esto hace que la distancia a nivel de suelo de cada muestra no sea uniforme.
- El efecto que esto causa es que la imagen en el rango cercano (near range) aparezca comprimida con respecto al rango lejano (far range).
- Es más, el ancho de la pasada en ground range es mayor que en slant range.

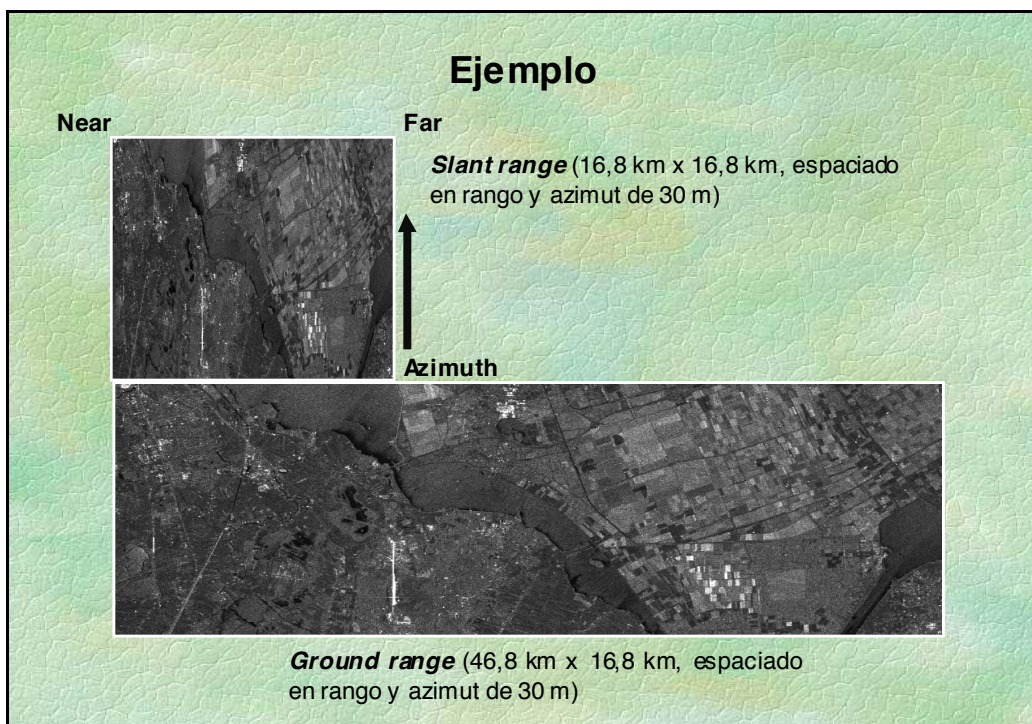


Proyección de la imagen a ground range

Para muchas aplicaciones entonces se deberá **reproyectar** la imagen de slant range a ground range. Este proceso se puede hacer tanto en la estación que procesa los datos SAR como por el usuario final.



Grilla equiespaciada a nivel de suelo

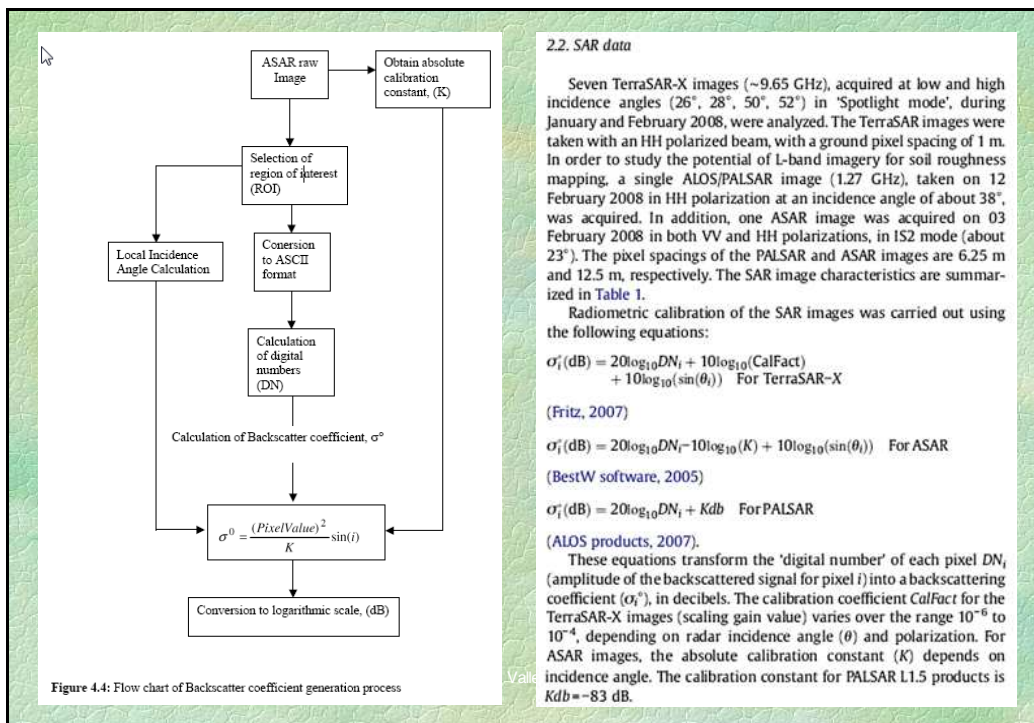
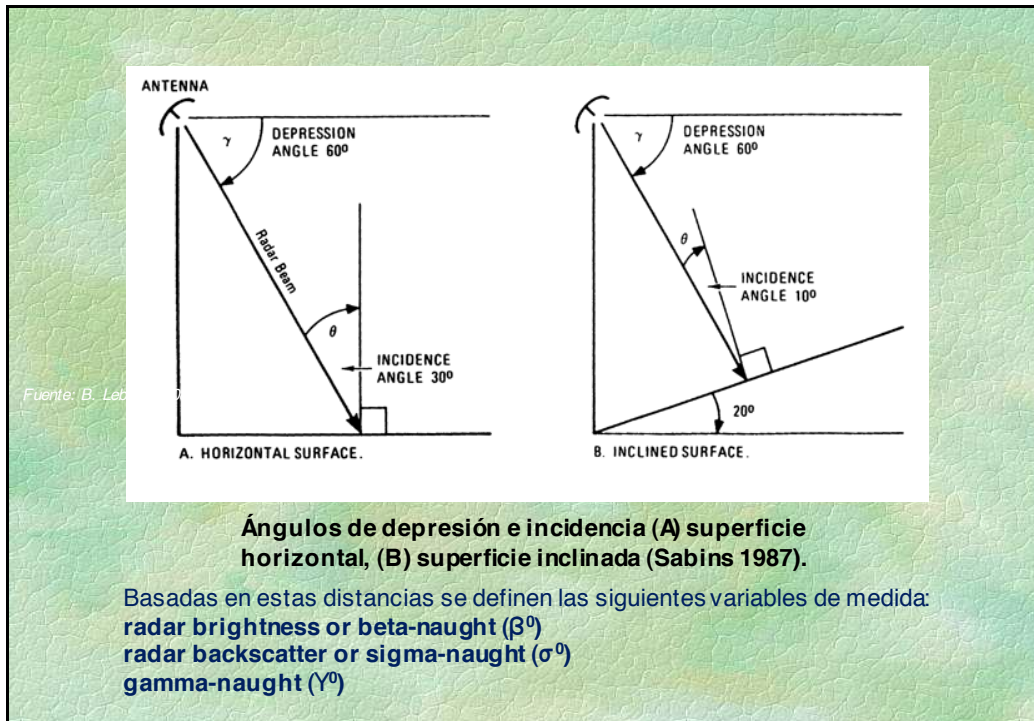


ÁNGULO DE DEPRESIÓN - depression angle

Ángulo entre la línea de visión del radar medido con respecto al plano horizontal. **No se recomienda el uso de este término para la interpretación de imágenes porque no toma en cuenta los efectos de la curvatura de la Tierra, y no incluye convenientemente los efectos de la inclinación local de la escena.**

The *depression angle* (γ) is the angle between a horizontal plane extending out from the aircraft fuselage and the electromagnetic pulse of energy from the antenna to a specific point on the ground.

- The depression angle within a strip of illuminated terrain varies from the *near-range depression angle* to the *far-range depression angle*. The *average depression angle* of a radar image is computed by selecting a point midway between the near and far-range in the image strip. Summaries of radar systems often only report the average depression angle.



BETA CERO (β^0) - beta nought

Coefficiente de la brillantez del terreno o un objeto, determinada por el radar. Se asocia a la reflectividad por unidad de superficie en función del alcance y carece de dimensiones.


SIGMA CERO (σ^0) - sigma nought


Coefficiente de reflexión, o medida convencional de la intensidad de las señales del radar reflejadas por un objeto. Es un **número normalizado y sin dimensiones**, que compara la intensidad de la señal observada con la intensidad esperada que proviene de un área de un metro cuadrado. Sigma Cero es definido con respecto al plano nominalmente horizontal y en general tiene una variación significativa con el **ángulo de incidencia**, con la **longitud de onda** y con la **polarización**, así como con las **propiedades** de la **superficie** misma.


GAMMA CERO (γ^0) - gamma-naught

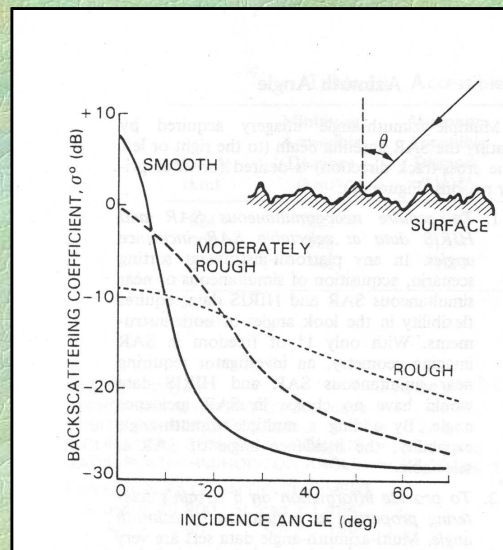
Coefficiente de reflexión que es estimado como una función del abance del terreno (**ground range**).

Ángulo de incidencia

 El **ángulo de incidencia** se define entre la vertical y la dirección del rayo incidente.

 De esta manera un **ángulo de incidencia** pequeño es más paralelo a la vertical que uno grande, que es más perpendicular.

 El **backscatter** cae mucho más rápido para superficies suaves que para superficies rugosas.



Incident Angle

The *incident angle* (θ) is the angle between the radar pulse of EMR and a line perpendicular to the Earth's surface where it makes contact. When the terrain is flat, the incident angle (θ) is the complement ($\theta = 90 - \gamma$) of the depression angle (γ). If the terrain is sloped, there is no relationship between depression angle and incident angle. The incident angle best describes the relationship between the radar beam and surface slope.

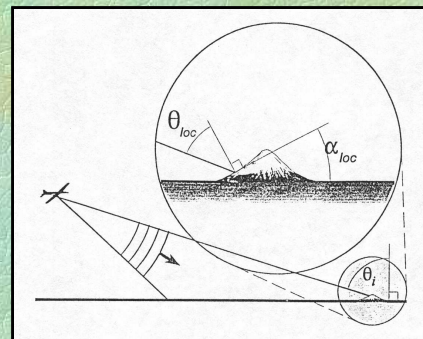
- Many mathematical radar studies assume the terrain surface is flat (horizontal) therefore, the incident angle is assumed to be the complement of the depression angle.

Jensen, 2007




Ángulo de incidencia local

El ángulo de incidencia se define como el ángulo entre la línea de visión del radar y la vertical. Sin embargo cuando hay variaciones del terreno la definición se modifica y se transforma en el **ángulo de incidencia local**.

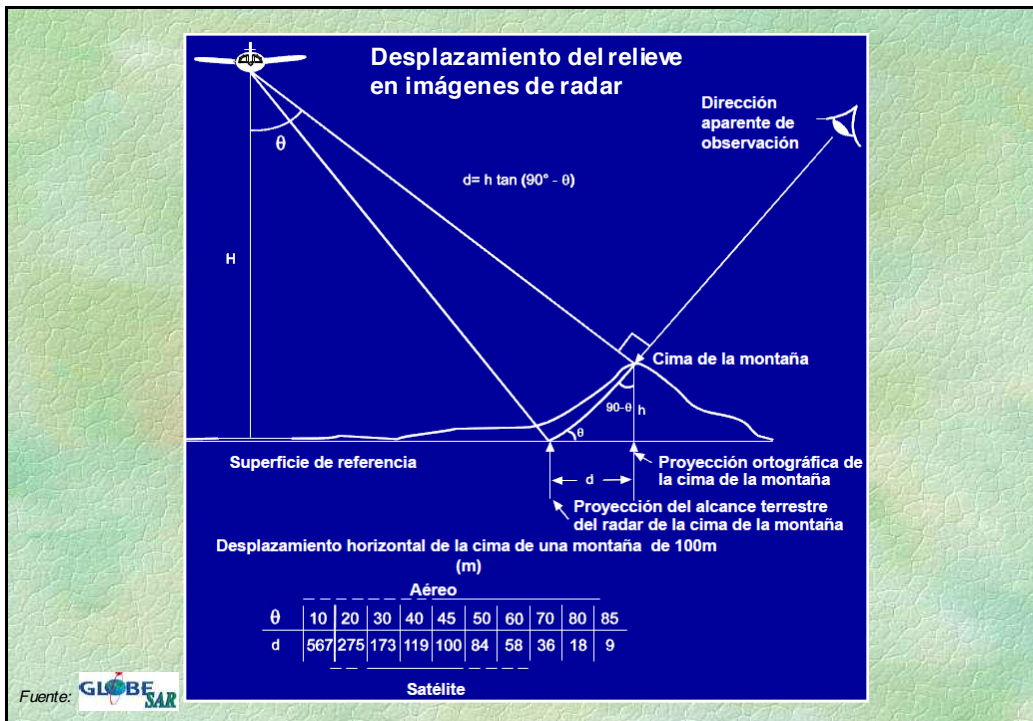
El **ángulo de incidencia local** se define como el ángulo entre la línea de visión del radar y la vertical relativa al plano tangente local.





Ángulo de incidencia local – Efectos en el terreno

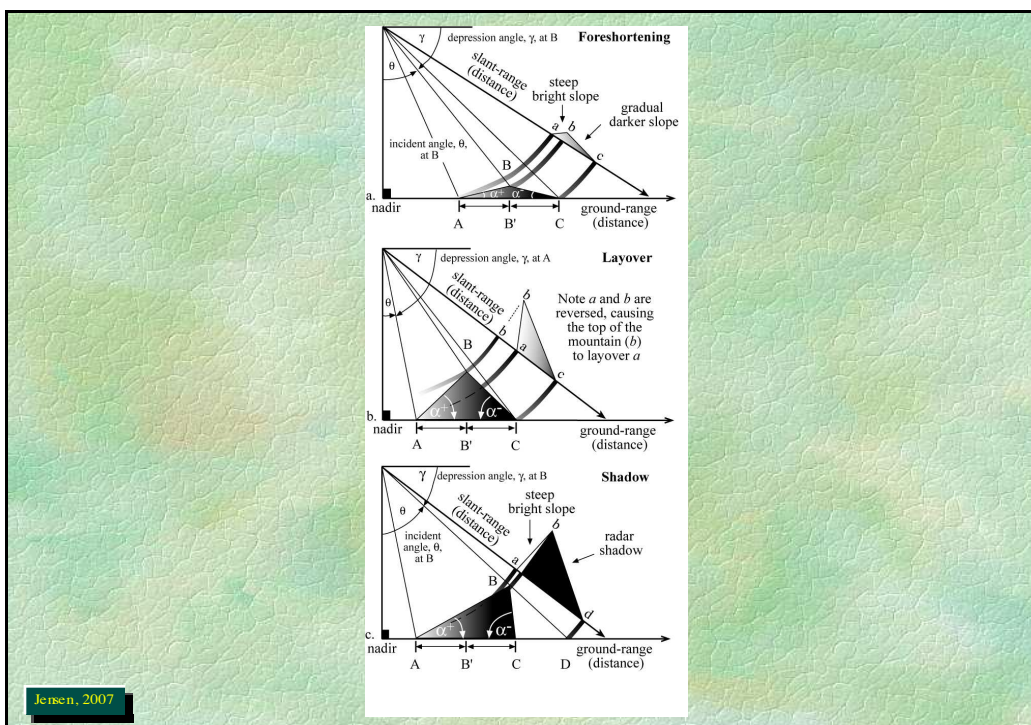
- 
 Para terrenos con relieve bajo, variaciones en el ángulo de incidencia local **modifican** el backscatter dependiendo de la pendiente del terreno.
- 
 Cuando la pendiente es hacia el radar, el backscatter **aumenta** (respecto al caso de terreno plano) y cuando la pendiente se aleja de la dirección de visión, el backscatter **disminuye**.
- 
 A medida que el relieve se hace mas importante, aparecen tres tipos de distorsiones geométricas:

- Foreshortening** (Escorzo)
- Layover** (Inversión por relieve)
- Shadow** (Sombra)




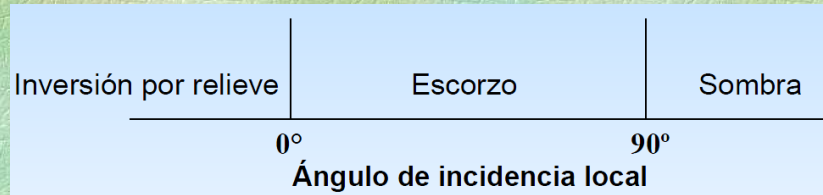
Desplazamiento del relieve

-  La dirección de observación de los radares al formar la imagen es oblicua (iluminación lateral). Existe la posibilidad de un **desplazamiento unidireccional del relieve**, similar al que se observa a con la fotografía aérea.
-  En las fotos aéreas, los objetos altos se observan desplazados radialmente alejándose del nadir. **La distorsión del terreno en las imágenes de radar es perpendicular a la trayectoria del vuelo (o trayectoria del satélite), es decir que los objetos más altos se observan desplazados hacia el sensor.**



Desplazamiento del relieve en imágenes de radar

 El tipo y grado de desplazamiento del relieve en las imágenes de radar son función del ángulo al cual el haz del radar toca el terreno, es decir depende del declive local del terreno (ángulo de incidencia local).



Foreshortening

ESCORZO - foreshortening

Distorsión espacial por la cual un terreno con pendiente y de cara hacia la iluminación de un radar de visión lateral, se presenta como si tuviera una **escala comprimida** en la dirección del alcance, en relación a la apariencia que tendría si el mismo terreno fuera plano.



depression angle 67°
incident angle 23°



depression angle 51°
incident angle 39°

Escorzo es un caso especial de **desplazamiento de la elevación**. Este efecto es más pronunciado para terrenos con pendientes mayores y en radares que emplean **ángulos de incidencia más cercanos a cero**.



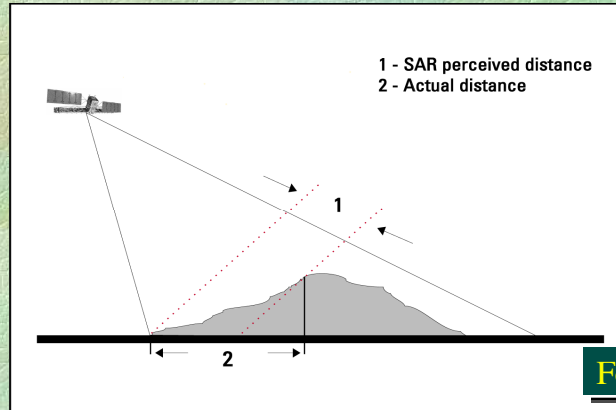
X-band



Aerial photograph



- La pendiente del terreno de una cara y de otra tienen básicamente la misma distancia, pero **cada punto difiere en la elevación**. Dado que el radar mide el tiempo entre la transmisión y la recepción para un pulso dado, los tiempos de retorno de la cara que mira al radar son muy similares.
- De esta manera el radar interpreta a los dos puntos como aproximadamente a la **misma distancia** del radar, y de esta manera la medición por radar de la distancia es **menor** que la real.



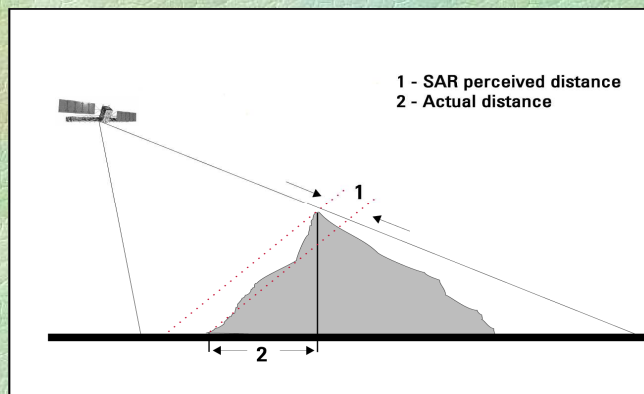
RADAR Foreshortening is Influenced by:

- *object height*: The greater the height of the object above local datum, the greater the foreshortening.
- *depression angle* (or incident angle): The greater the depression angle (γ) or smaller the incident angle (θ), the greater the foreshortening.
- *location of objects in the across-track range*: Features in the near-range portion of the swath are generally foreshortened more than identical features in the far-range. Foreshortening causes features to appear to have steeper slopes than they actually have in the near-range of the radar image and to have shallower slopes than they actually have in the image far-range.



El layover ocurre cuando pulso que retorna del punto más alto del terreno (el más cercano al radar) es interpretado como más cercano que el punto más bajo en el terreno.

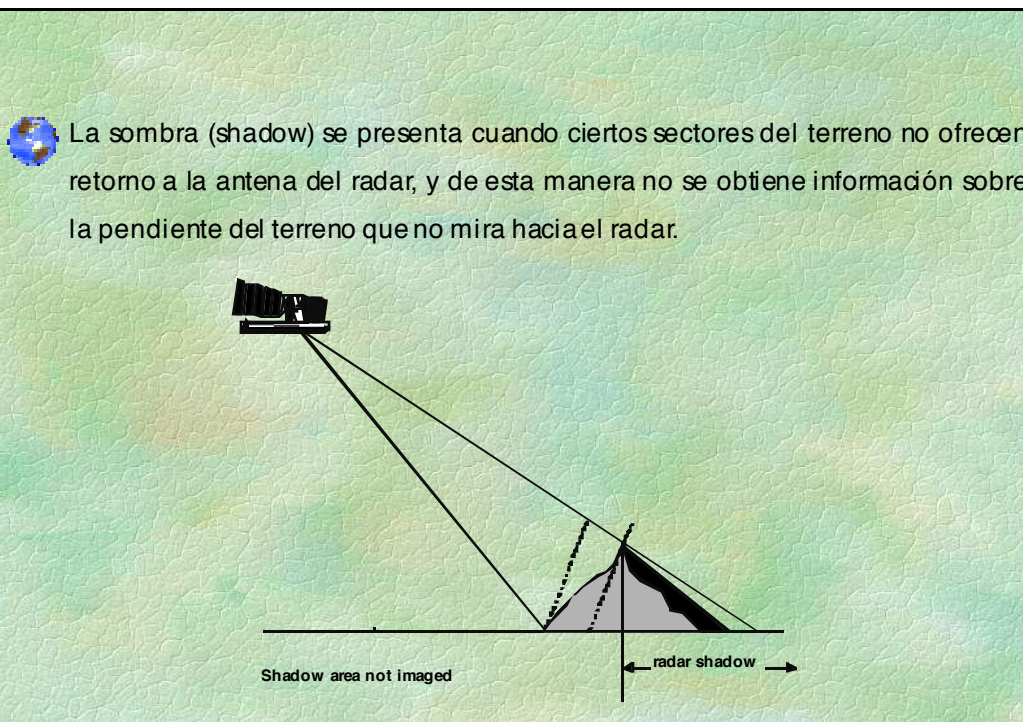
En estas situaciones los puntos más altos en el terreno se inclinan hacia la dirección de visión del radar.



RADAR Relief Displacement: Image Layover

Image layover is an extreme case of image foreshortening. It occurs when the incident angle (θ) is smaller than the foreslope (α^+) i.e., $\theta < \alpha^+$.

- This distortion cannot be corrected even when the surface topography is known. Great care must be exercised when interpreting radar images of mountainous areas where the thresholds for image layover exist.



RADAR Shadows

Shadows in radar images can enhance the geomorphology and texture of the terrain. Shadows can also obscure the most important features in a radar image, such as the information behind tall buildings or land use in deep valleys. If certain conditions are met, any feature protruding above the local datum can cause the incident pulse of microwave energy to reflect all of its energy on the foreslope of the object and produce a black shadow for the backslope.

RADAR Shadows

- A backslope is in *radar shadow* when its angle α is steeper than the depression angle (γ), i.e., $\alpha > \gamma$.
- If the backslope equals the depression angle, $\alpha = \gamma$, then the backslope is just barely illuminated by the incident energy. This is called *grazing illumination* because the radar pulse just grazes the backslope.
- The backslope is fully illuminated when it is less than the depression angle ($\alpha < \gamma$.)





Jensen, 2007

RADAR Shadows

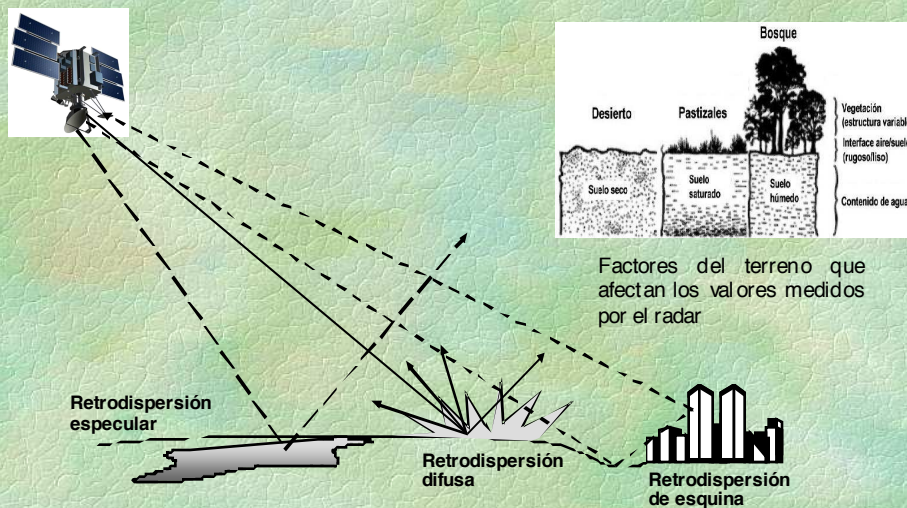
- Unlike airphotos, where light may be scattered into the shadow area and then recorded on film, *there is no information within the radar shadow area. It is black.*
- Two terrain features (e.g., mountains) with identical heights and fore- and backslopes may be recorded with entirely different shadows, *depending upon where they are in the across-track.* A feature that casts an extensive shadow in the far-range might have its backslope completely illuminated in the near-range.
- *Radar shadows occur only in the cross-track dimension. Therefore, the orientation of shadows in a radar image provides information about the look direction and the location of the near- and far-range.*

Jensen, 2007

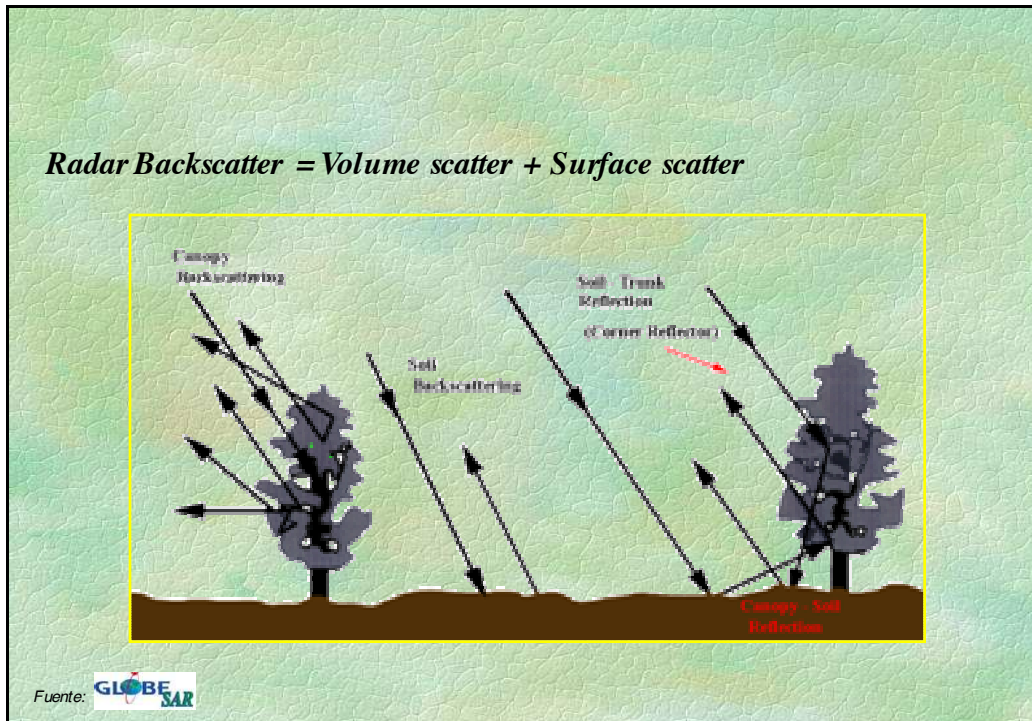
Retrodispersión de Radar (*Radar backscatter*)

-  Un sensor SAR produce imágenes basadas en la intensidad de la energía reflejada, o también conocida como **backscatter** (σ^0).
-  La intensidad del backscatter depende de los parámetros del **pulso del radar**, incluyendo **longitud de onda** y **polarización**, y en los parámetros de superficie como ser la **rugosidad de superficie** y la **constante dieléctrica** (que está relacionada con la humedad de suelo y la vegetación).
-  La ecuación de radar **relaciona la energía emitida con la energía recibida**.
-  Sigma θ es el coeficiente de backscattering (σ^0). σ^0 está fuertemente relacionado con el **ángulo de incidencia**.




Distintos tipos de retro-dispersión






(adaptado de Campbell, 1987)








Dispersión volumétrica (Volume scatter)

-  La dispersión por volumen ocurre cuando el radar **penetra** una superficie (ej. suelo seco) por **difracción** o cuando **interactúa** entre superficies como puede ser plantaciones o bosques.
-  La dispersión por volumen depende de factores como **longitud de onda**, **ángulo de incidencia** y **propiedades dieléctricas** (contenido de humedad, constante dieléctrica) del medio. Estos parámetros también definen la profundidad de penetración del haz.
-  En general, para una superficie dada con constante dieléctrica constante, la profundidad de penetración **aumenta** con la longitud de onda y disminuye para ángulos de incidencia crecientes, dando como resultado **un aumento o disminución de la dispersión en volumen**.

Constante Dieléctrica

-  La constante dieléctrica es una medida de las propiedades eléctricas de un material dado.
-  Está formada por dos componentes: **permisividad** y **conductividad**. Ambas son funciones de la **longitud de onda del radar**, y fuertemente dependientes del **contenido de humedad**. Los materiales con constantes altas generalmente reflejan la onda de radar con muy poca energía absorbida.
-  Constantes dieléctricas típicas:
 - 5 para suelo seco y hielo (penetración de varios metros).
 - 15 para suelo húmedo (penetración del orden de centímetros).
 - 80 para agua (prácticamente sin penetración).

Contenido de humedad

-  La presencia de humedad **aumenta** la constante dieléctrica (número complejo) de un material. La constante dieléctrica influye en la capacidad del material para **absorber, reflejar y transmitir la energía de las microondas**.
-  El **contenido de humedad de un material puede cambiar sus propiedades eléctricas. Esto afecta la forma en que un material aparece en la imagen de radar. La apariencia de materiales idénticos puede ser diferente, según la cantidad de humedad que contengan.**
-  La **reflectividad y en consecuencia la brillantez de la imagen de la mayoría de la vegetación natural y de las superficies naturales, aumenta con el contenido de humedad.**
-  Las microondas pueden penetrar materiales muy secos, como las arenas del desierto.
-  La **reflexión resultante es función de las propiedades de las capas superficiales y subsuperficiales. En general, mientras más larga sea la longitud de onda del radar, mayor será la penetración de la energía dentro del material.**

Selección de la frecuencia del radar



De acuerdo a cada aplicación :

La longitud de onda del radar se selecciona de acuerdo a la escala del fenómeno o de las características del terreno que se desean identificar :

- *Identificación del hielo, características de escalas relativamente pequeñas.* Se selecciona la banda-X.
- *Cartografía geológica, características grandes.* Se selecciona la banda-L.
- *La penetración de la señal a través del follaje es mayor mediante las frecuencias bajas.* Se prefiere la banda-P o L. La banda-C es una buena alternativa también.

Selección de la frecuencia del radar



En función de los factores del sistema:

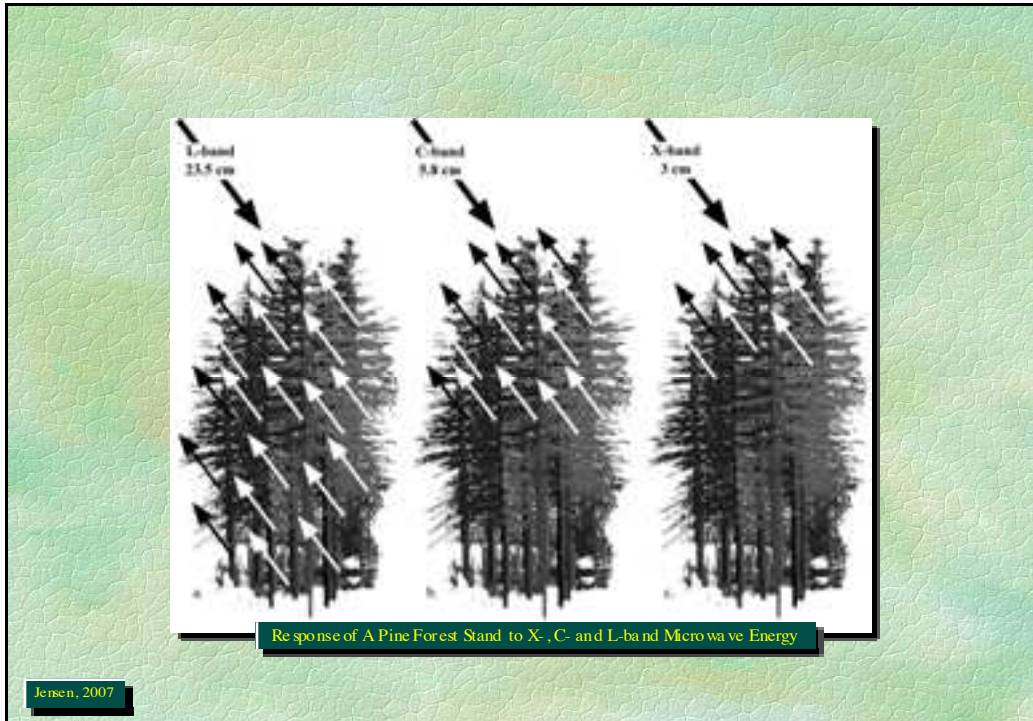
Frecuencias bajas:

- Más difícil de procesar
- Requieren antenas grandes
- Electrónica más simple

Frecuencias altas

- Necesitan mayor potencia
- Electrónica más difícil
- Disponibilidad de componentes en la banda-X

Note que muchos SAR de investigación pueden operar en varias frecuencias



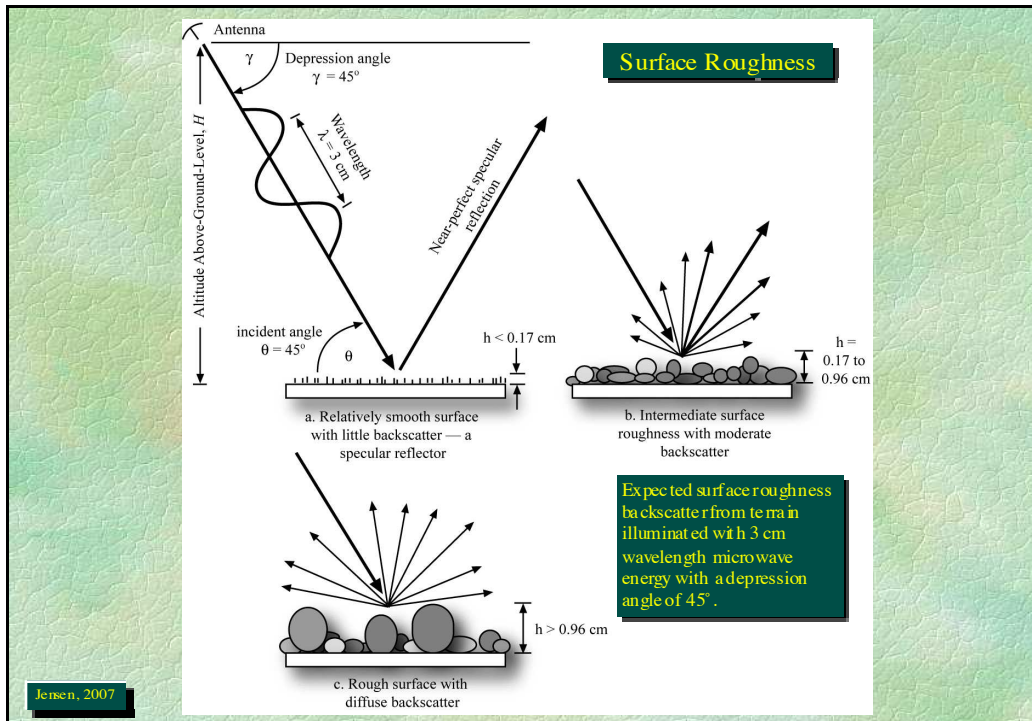
Surface Roughness

Surface roughness	Surface Scattering	Backscatter	Image tone
Smooth	specular	0	dark
Intermediate	non Lambertian diffuse	medium	intermediate
Rough	Lambertian diffuse	high	bright

in centimeters (i.e. the height of stones, size of leaves, or length of branches in a tree) and not thousands of meters as with mountains.

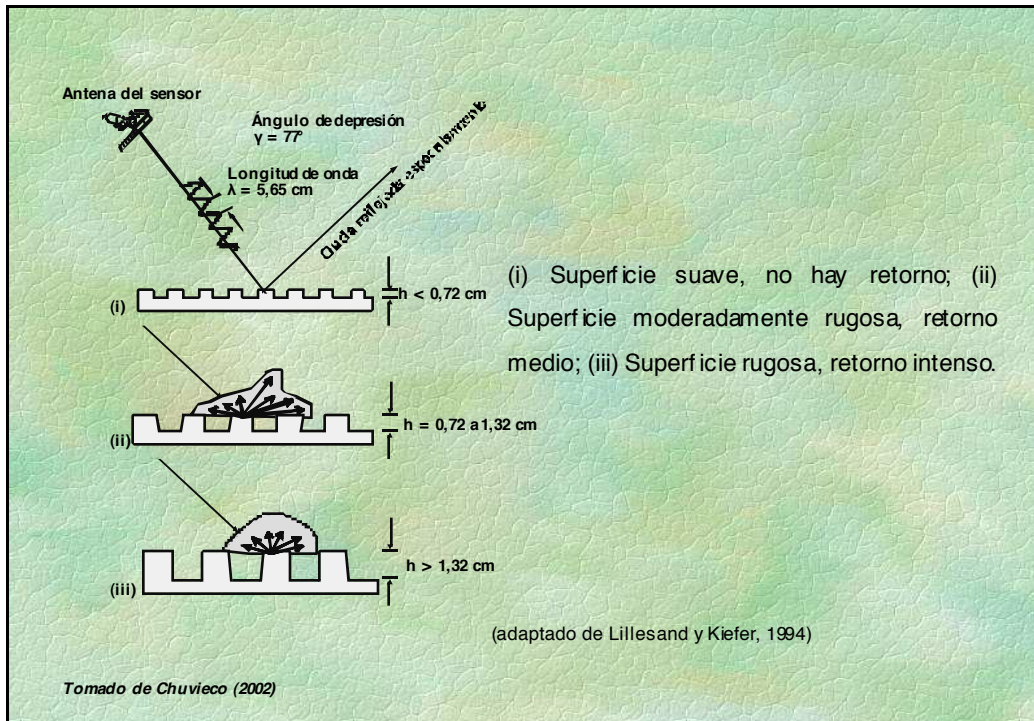
- In radar imagery we are actually talking about *micro-relief surface roughness* characteristics rather than topographic relief.

Jensen, 2007



Surface Roughness

- There is a relationship between the wavelength of the radar (λ), the depression angle (γ), and the local height of objects (h in cm) found within the resolution cell being illuminated by microwave energy. It is called the *modified Rayleigh criteria* and can be used to predict what the earth's surface will look like in a radar image if we know the surface roughness characteristics and the radar system parameters (λ , γ , h) mentioned.



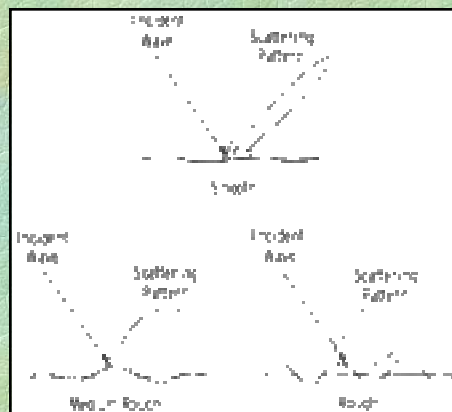
Dispersión de Superficie (Surface scatter)

Si la superficie es plana, las ondas incidentes y reflejadas **obedecen las leyes de Snell**.

En una superficie rugosa las ondas son reflejadas y refractadas en **todas las direcciones**.

En las superficies poco rugosas (para las longitudes de onda utilizadas) el scattering está dominado por el denominado forward scattering, **básicamente especular**, y en las superficies mas rugosas el scattering se distribuye **mas uniformemente**.

El criterio de Rayleigh para superficies suaves y rugosas depende de **la longitud de onda** (λ) y del **ángulo de incidencia** (θ).



$$h < \lambda / 8 \cos \theta \quad \text{suave}$$

$$h > \lambda / 8 \cos \theta \quad \text{rugosa}$$

Fuente: B. Leblon (2008)

Values for the **Rayleigh** and **Peake and Oliver criteria**, which has a rms height of 5 cm, and on which two types of microwaves (band X = 3 cm and band L = 25 cm) reach it under a 45° incidence angle

Band	Peake and Oliver criteria	Surface roughness	Radar backscatter	Image tone
X	Rayleigh, and Peake and Oliver criteria	rough (h = 5 cm > 0.96 cm)	rough	bright
L	h smooth = 1.41 cm h rough = 8.04 cm	intermediate (1.41 cm < h = 5 cm < 8.04 cm)	intermediate	medium

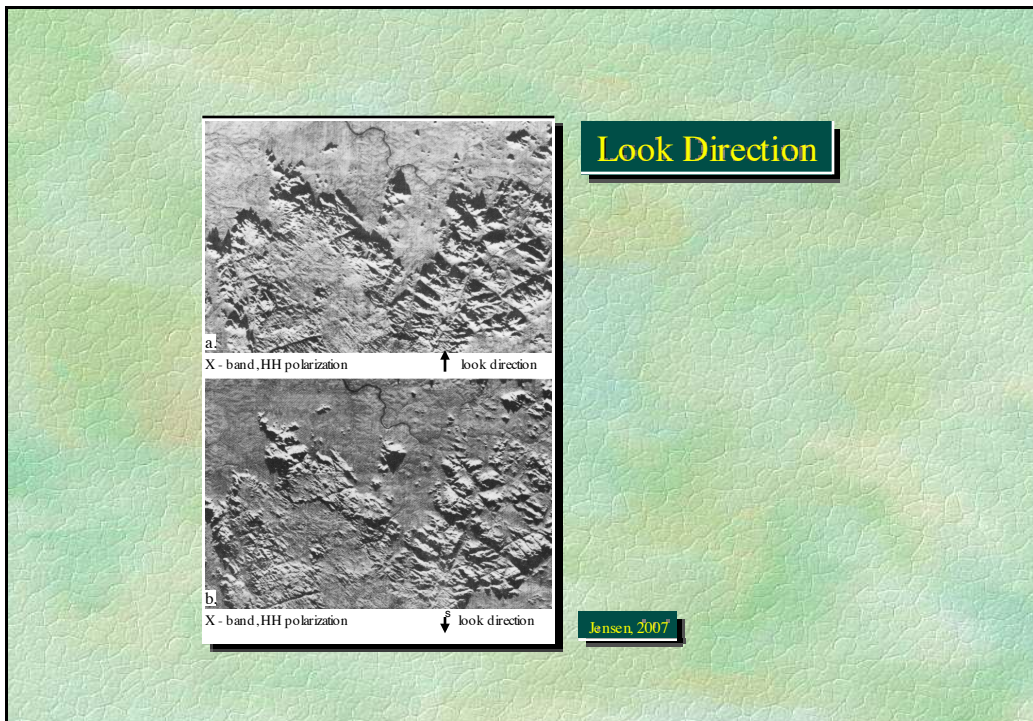
Rayleigh criteria:

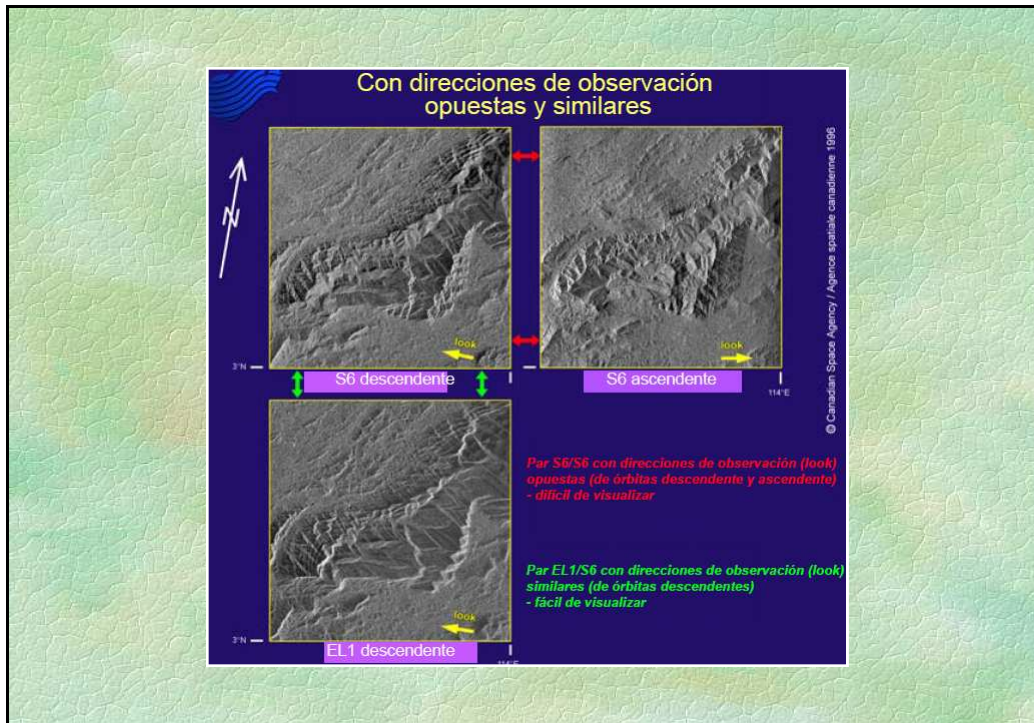
Smooth (Rough)

$$h < (>) \frac{\lambda}{8 \sin \gamma} = \frac{\lambda}{8 \cos \theta_i}$$

Peake and Oliver criteria:

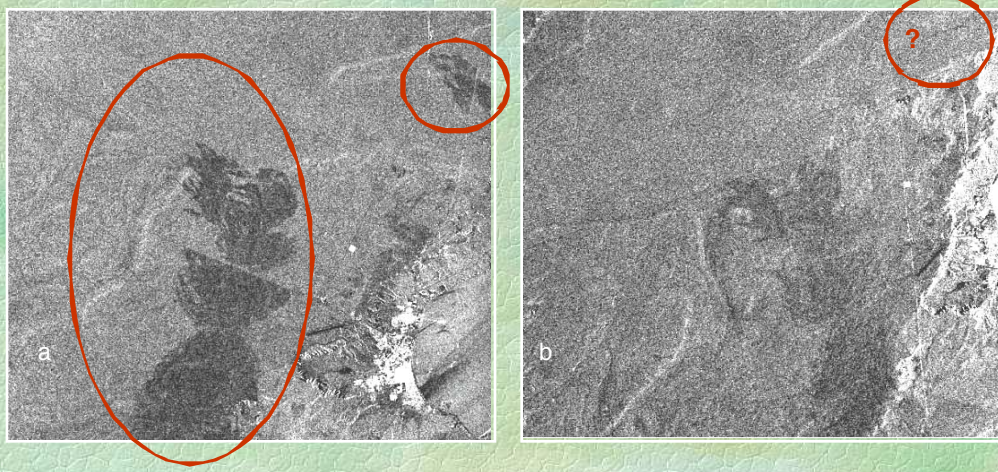
Smooth	Rough	Intermediate
$h < \frac{\lambda}{25 \cos \theta_i}$	$h > \frac{\lambda}{4.4 \cos \theta_i}$	$h > \frac{\lambda}{4.4 \cos \theta_i}$

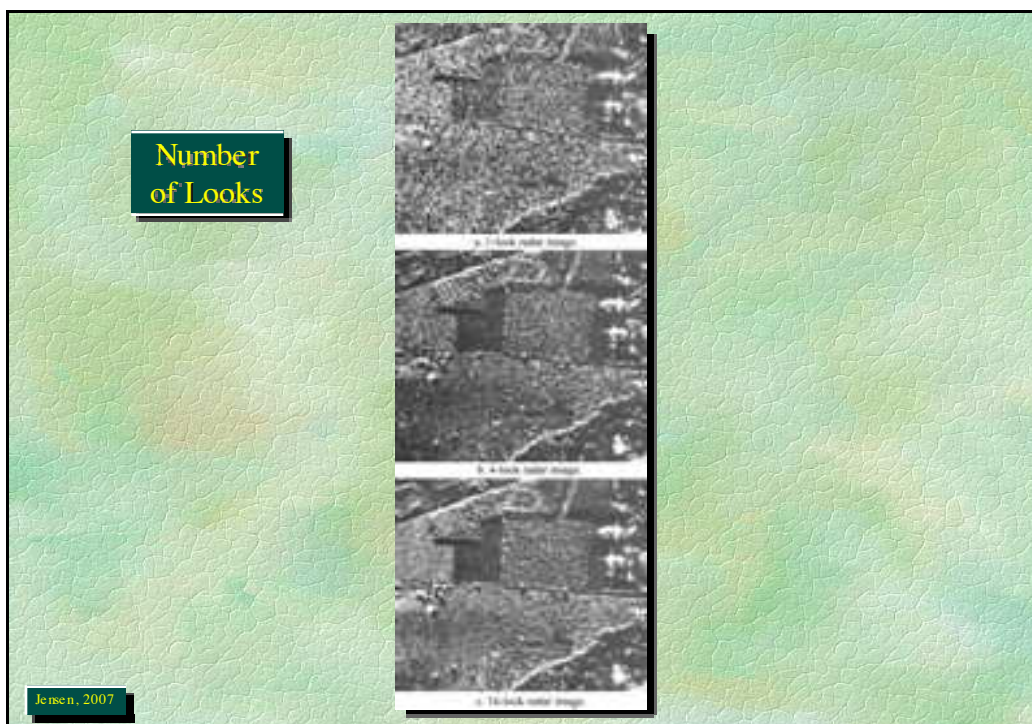




Ascending (east looking) and Descending (west looking)

A comparative analysis of **ascending** (a) and **descending** (b) ERS-1/2 data makes clear that radar detected burned areas are pictured in varying contrast depending on the orbit. Radar data of the ascending orbit have a better image contrast and therefore are more suitable for distinguishing the burned and unburned areas.



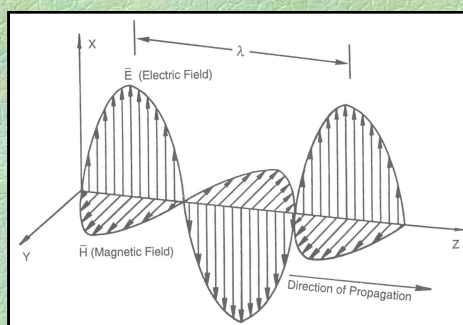


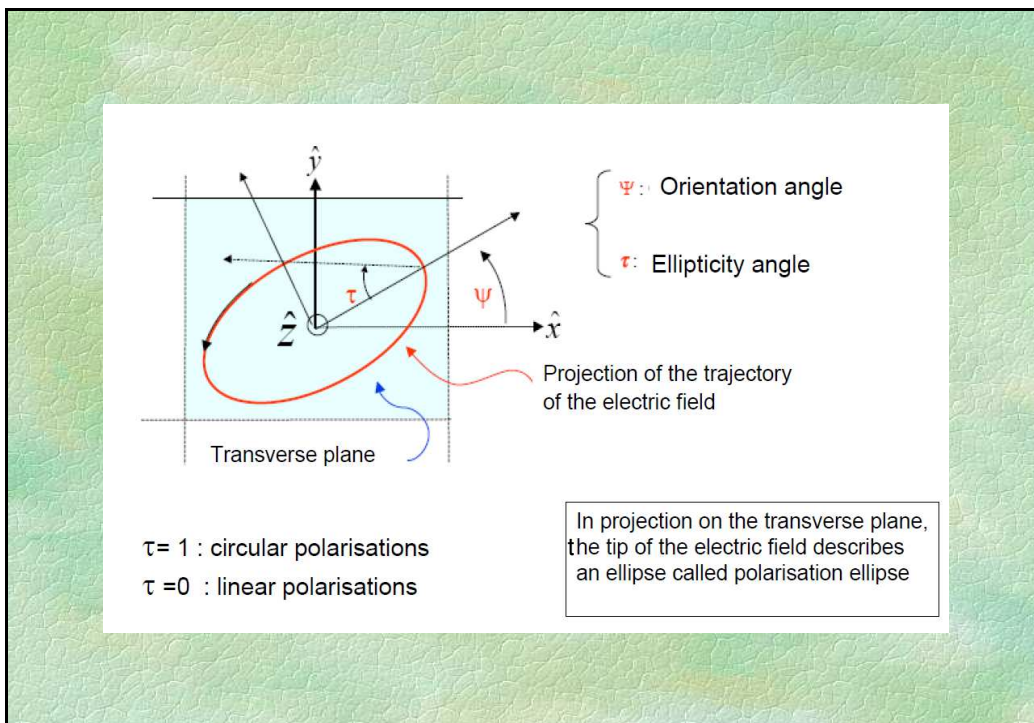
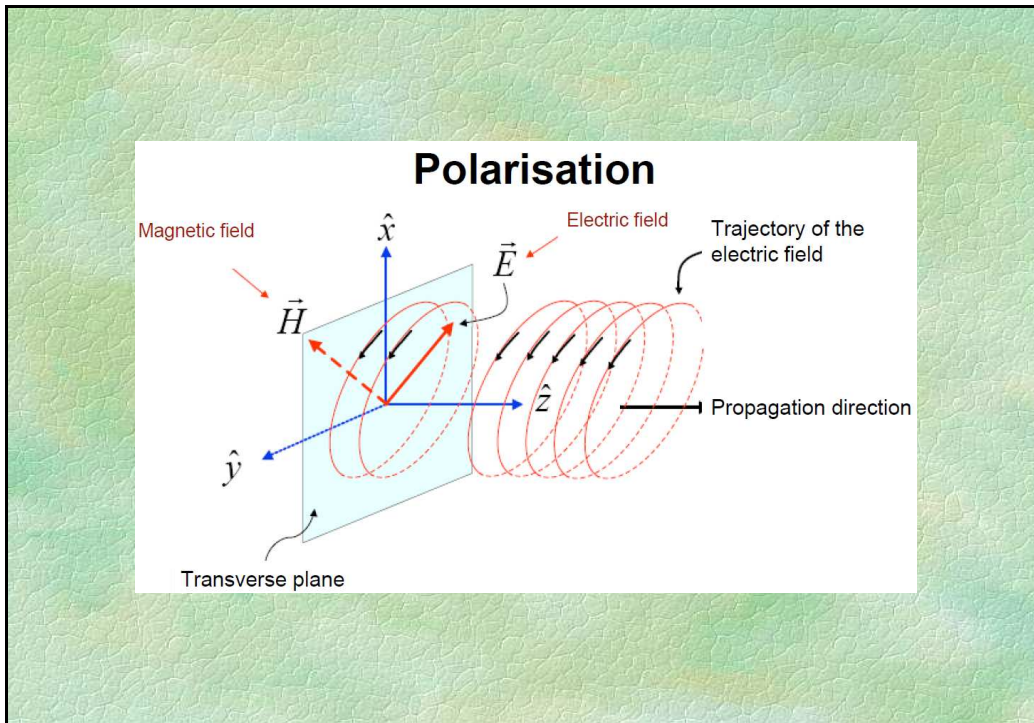
Polarización

Las ondas EM tienen un componente eléctrico y otro magnético.

Es de interés para el SAR solamente la componente eléctrica \mathbf{E} y la orientación del campo eléctrico respecto a la dirección de propagación.

La polarización de una onda plana describe la forma y lugar de la cresta del vector \mathbf{E} en un plano ortogonal a la dirección de propagación.





VV
 radar antenna transmits vertically polarized energy toward the Earth
 vertical send
 vertical filter
 vertical receive
 backscattered vertically polarized energy from Earth is received by the antenna

HH
 radar antenna transmits horizontally polarized energy toward the Earth
 horizontal send
 horizontal filter
 horizontal receive
 backscattered horizontally polarized energy from Earth is received by the antenna

Use of Vertical and Horizontal Polarizing Filters
 a. Vertical filter allows only vertically polarized light to pass.
 b. Horizontal filter allows only horizontally polarized light to pass.

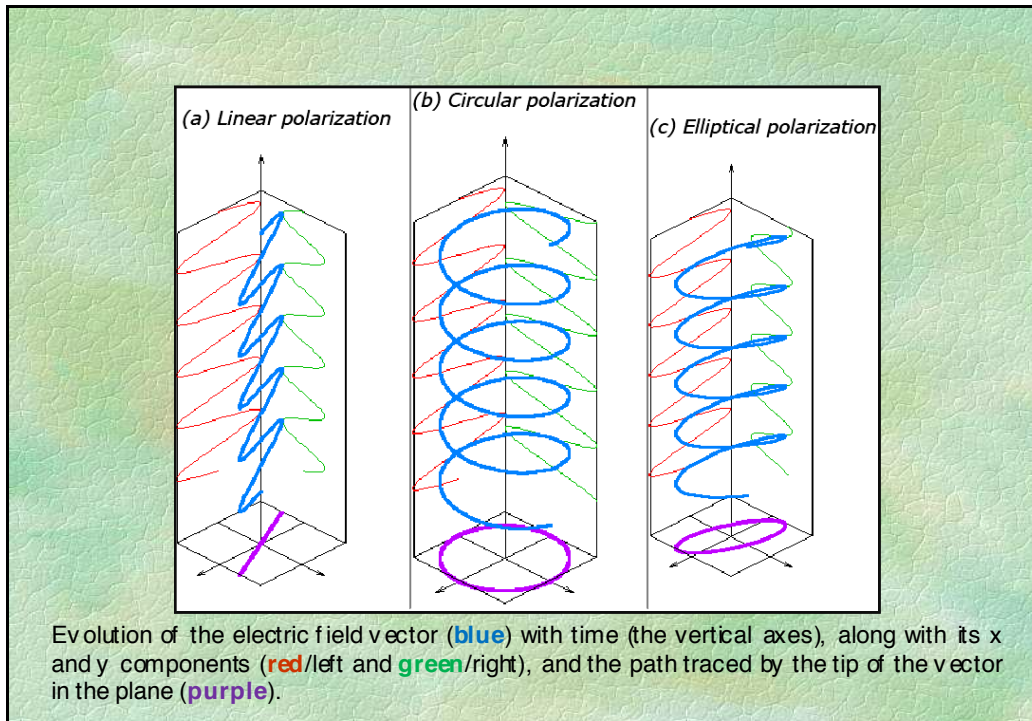
Jensen, 2007

a. K_a - band, HH polarization
 look direction




b. K_a - band, HV polarization

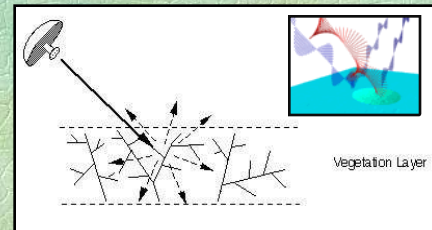
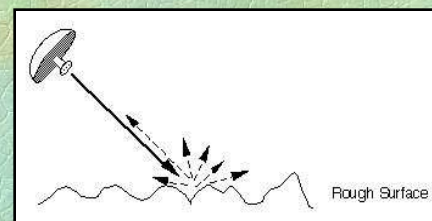
- *HH* and *VV* configurations produce *like-polarized* radar imagery.
- *HV* and *VH* configurations produce *cross-polarized* imagery.

Jensen, 2007



Polarización – Tipos de respuesta

- 
La respuesta de las distintas polarizaciones se pueden usar para obtener información del objetivo. Para superficies rugosas (ej. suelo pelado) **co-pol** (HH o VV) es mayor que cross-pol (HV o VH). Lo opuesto ocurre para áreas con vegetación (ej. bosques, plantaciones).
- 
 Tanto los sensores RADARSAT como ENVISAT pueden adquirir co-pol y cross-pol simultáneamente.
- 
 Las diferentes respuestas se pueden utilizar para discriminar distintos tipos de objetivos.




Beneficios de la detección y el uso de polarización múltiple

 En cada píxel de la imagen se pueden calcular; la matriz de reflexión difusa, la matriz de Stokes y el nivel de la polarización

- pueden ser herramientas poderosas para la clasificación
- tanto para la clasificación visual como la automática


 La matriz de reflexión difusa puede ser útil para:

- sintetizar la señal recibida en cualquier combinación de polarización entre la transmisión y la recepción
- investigar las propiedades de la reflexión de diferentes superficies
- seleccionar la polarización para una detectabilidad óptima



Class	Landforms	Land Cover Structure Class	Most Common Species	Radar Signatures [†]	
				C-band	L-band
1	Foreshore sand beaches	Unvegetated desert sand beaches		Dark	Dark
2	Cliffs scarp (wind abrasion), upper beaches and sand ramps	Generally unvegetated		Bright and Dark	Bright and Dark
3	Coastal and inland sand dunes	Unvegetated sand dunes		Dark, Bright	Dark, Intermediate
4	Interdune	<i>Erg</i> generally without vegetation cover		Intermediate	Intermediate
5	Scald-scabby	Flat surface created by aeolian deflation of the sand mantle; surface characterized by small pebble deposits and sparse vegetation	<i>Stipa tenuis</i>	Bright, Intermediate	Bright, Intermediate
6	Stabilized dunefields with conspicuous dune crest	Grass steppe. Mixed short grasses (10-30 cm) with some shrubs (10 cm). 70-80% vegetation cover	<i>Sporobolus rigens</i> , <i>Stipa tenuis</i>	Intermediate, Dark	Intermediate, Bright
7	Stabilized dunefields with conspicuous dune crest	Shrub steppe with grasses. Closed shrub (50 cm) with very short grasses (5 cm). 70% vegetation cover	<i>Hyalis argentea</i> , <i>Stipa tenuis</i>	Intermediate, Dark	Intermediate, Bright
8	Stabilized dunefields with conspicuous dune crest and aeolian deflation areas	Mosaic of grass steppe with some shrubs. Mixed grasses (10-30 cm) and shrubs (50 cm). 70-80% vegetation cover	<i>Sporobolus rigens</i> , <i>Stipa tenuis</i> , <i>Hyalis argentea</i>	Intermediate, Dark	Intermediate, Bright
9	Stabilized dunefields with conspicuous dune crest and aeolian deflation areas	Grass steppe with some shrubs. Mixed short grasses (20 cm) and shrubs (50-150 cm). 60-70% vegetation cover	<i>Piptochaetium napostaense</i> , <i>Stipa tenuis</i> , <i>Plantago patagonica</i>	Intermediate, Dark	Intermediate, Bright
10	Stabilized discontinuous thin aeolian mantles in gravel plains	Mosaic of grass steppe and shrub-grass steppe. Mixed short grasses (20 cm) and shrubs (50-200 cm). 60-70% vegetation cover	<i>Piptochaetium napostaense</i> , <i>Stipa tenuis</i> , <i>Plantago patagonica</i> , <i>Chiquitraga avellanadae</i>	Intermediate, Bright	Intermediate
11	Coastal dunes with wind abrasion	Shrub steppe. Mixed shrubs (70-110 cm). 50% vegetation cover	<i>Senecio flagmoides</i> , <i>Mulimum spinosum</i>	Intermediate, Dark	Intermediate, Dark
12	Stabilized discontinuous thin aeolian mantles in gravel plains	Shrub-grass steppe. Shrubs (80-100 cm) with grasses (10-20 cm). 40-60% vegetation cover	<i>Chiquitraga avellanadae</i> , <i>Stipa tenuis</i>	Intermediate, Bright	Intermediate
13	Temporary and permanent saltlakes	Generally unvegetated		Very Dark	Very Dark

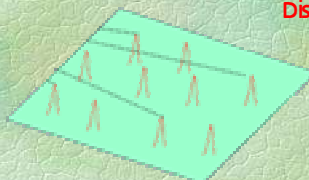
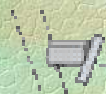
[†] Surface roughness types (Image tone): Smooth (Dark), Intermediate (Intermediate), and Rough (Bright).



Speckle is a grainy salt-and-pepper pattern in radar imagery present due to the coherent nature of the radar wave, which causes random constructive and destructive interference, and hence random bright and dark areas in a radar image. The speckle can be reduced by processing separate portions of an aperture and recombining these portions so that interference does not occur. This process, called *multiple looks* or non-coherent integration, produces a more pleasing appearance, and in some cases may aid in interpretation of the image but at a cost of degraded resolution.

Jensen, 2007

- El speckle es un fenómeno de dispersión debido a que la resolución del sensor no es suficiente para resolver dispersores individuales.
- La superficie de una celda de resolución es siempre mucho más grande que λ , y generalmente más grande que dispersores individuales.



Dispersores individuales

Reducción del speckle

El speckle se puede reducir (al menos) de dos maneras:

1. Proceso multilook durante la producción de la imagen SAR.
2. Técnicas de filtrado.

La utilización de estos métodos trae como consecuencia una **disminución en la resolución espacial**.

Reducción de speckle: Proceso Multilook

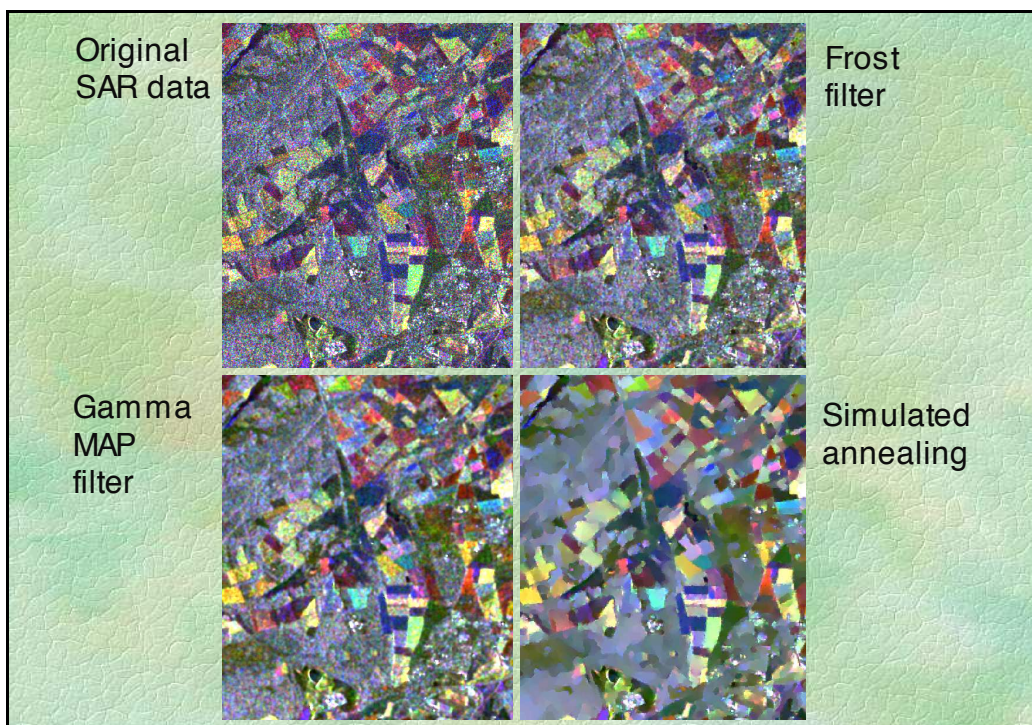
La técnica consiste en dividir los datos disponibles en varias partes que se procesan independientemente.

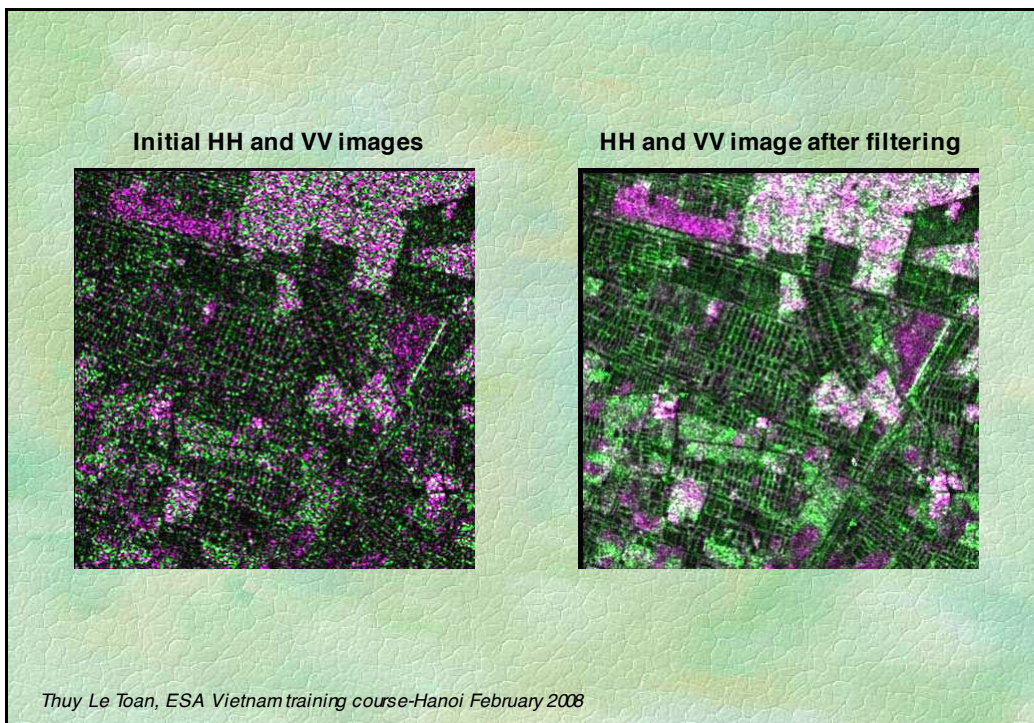
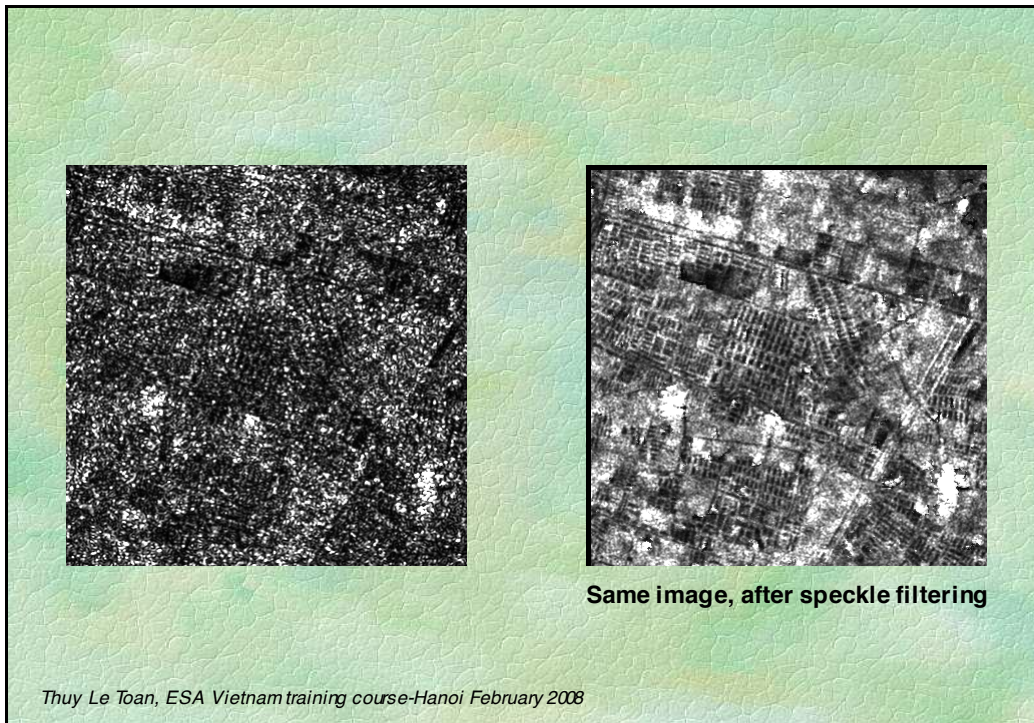
Los llamados **looks** son **promediados** para reducir la variación aleatoria de los tonos de grises generados por el speckle. Para L secciones estadísticamente independientes el speckle se ve disminuido en un factor de L .

Sin profundizar en la demostración matemática se puede demostrar que con este proceso se mantiene la media estadística de la imagen, mientras que la desviación estándar es disminuida en un factor de \sqrt{L} .

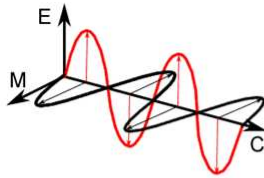
Reducción de speckle: Filtros

- Distintos tipos de filtros se pueden utilizar para la reducción del ruido speckle, como ser la media, la mediana, etc. Estos de todas maneras muestran muchas desventajas (bordes difusos, disminución de intensidad de retrodispersores) principalmente asociados con el hecho de que la estructura de la escena no modifica el filtro, que en cambio tiene un comportamiento fijo.
- El paso siguiente fue el desarrollo de filtros adaptativos (Lee, Kuan, Frost) que utilizan la intensidad local (calculada como la intensidad del píxel central y la intensidad promedio dentro de una ventana) y de esta manera se adaptan a la radiometría local.
- Algunos de estos filtros se verán en detalle a lo largo del curso.





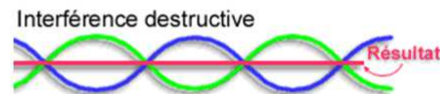
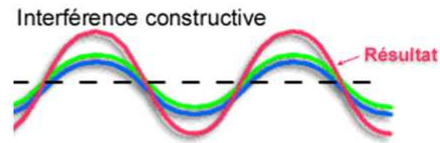
Radar signal: amplitude and phase



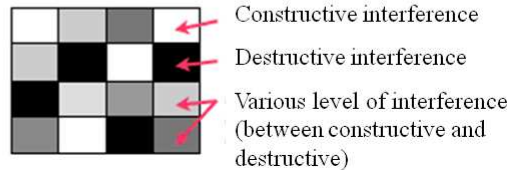
SAR signal is a complex nature

SAR = Amplitude + phase

Speckle appears as a grainy "salt and pepper" texture in an image. This is caused by random constructive and destructive interference from the multiple scattering returns that will occur within each resolution cell.



Homogeneous target



Ruido multiplicativo

- En un sistema coherente como SAR el ruido es intrínseco a la señal recibida, siendo asociado a la combinación coherente de los ecos de cada dispersor.
- Esto nos lleva a un modelo de **Ruido Multiplicativo**, en donde la imagen procesada es

$$\text{Imagen} = \text{Ruido} * \text{Señal imagen}$$

- Espectralmente es la convolución del espectro de la señal con el espectro del ruido, haciendo *imposible* eliminar el ruido con filtros en el dominio de la frecuencia.
- La presencia del speckle en las imágenes de radar es el mayor obstáculo para interpretar, clasificar y analizar imágenes SAR para las diferentes aplicaciones de teleobservación.
- Reduce la capacidad de separar los distintos tipos de suelo y de distinguir pequeños detalles.

