INTRODUCCION GENERAL

En las últimas décadas, los puntos en común entre la óptica, la teoría de la información y la teoría de las comunicaciones se han ido acrecentando. Esta afinidad es comprensible, entre otras razones, pues tanto los sistemas de comunicaciones como los sistemas ópticos están diseñados para detectar y procesar información. En el primer caso, en general la información es de naturaleza temporal, mientras que en el segundo caso es de naturaleza espacial. Esta es una diferencia puramente formal, ya que ambos sistemas pueden ser descriptos por el mismo formalismo matemático, esto es a través del Análisis de Fourier.

La razón fundamental de la matemática similar, entre ambas disciplinas, no es solamente el interés común por la información, sino que además, en general, tanto los sistemas ópticos como los de comunicaciones, poseen en común un conjunto de propiedades básicas tales como linealidad e invariancia. Estas dos propiedades permiten que un sistema sea tratado sencillamente usando técnicas del análisis de frecuencias. Para el caso de un sistema óptico, el análisis del mismo se hace en términos de su respuesta en frecuencias espaciales.

Dentro de este marco de semejanzas, no es de extrañar que algunas de las funciones usadas a lo largo de este trabajo, hayan sido definidas originariamente en la teoría de sistemas de comunicaciones.

El formalismo de la transformada de Fourier permite describir a una función n-dimensional $f(x_1, x_2, ..., x_n)$ por su espectro n-dimensional $F(u_1, u_2, ..., u_n)$:

$$F(\vec{u}) = \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} f(\vec{x}) \exp\{-2\pi i \vec{x}.\vec{u}\} \, d\vec{x}$$

Este espectro da una distribución global de la energía de la señal como función de la frecuencia, es decir, tiene en cuenta a las frecuencias espaciales que se encuentran en toda la señal.

En ciertos casos es deseable tener una distribución local de la energía de la señal como función de la frecuencia, vale decir, considerar las frecuencias espaciales localizadas en una pequeña región del espacio. En esta consideración está implícita una representación 2n-dimensional de la señal en un espacio $(\vec{x},\vec{u})$, ya que implica una manifestación dual espacio-fase de la función original. Un ejemplo de aplicabilidad de esta representación puede hallarse en óptica geométrica, donde la señal está descripta por las direcciones (es decir frecuencias espaciales) de los rayos, que están presentes en un punto dado (coordenadas correspondientes).

Las ventajas que ofrecen las representaciones espectrales locales sobre las globales, pueden entenderse mejor pensando en la música y en su particular forma de escritura. Como cualquier evento físico una pieza musical puede ser descripta matemáticamente de varias formas; por ejemplo, puede graficarse a la presión de aire U(t) como función del tiempo. Desde luego, un compositor no piensa en su música como un evento físico, sino que, lo que él quiere es prescribir la frecuencia exacta en el intervalo exacto de una nota (aunque el principio de incerteza le imponga lo contrario). Por una cuestión puramente pragmática el compositor no escribe una U(t), solo la compañía discográfica, es la que produce y vende una U(t). Por otra parte es claro que si no se preocupa por escribir una U(t), menos aún lo hará por su transformada de Fourier; él sabe que ésta es muy útil para resolver ciertos problemas matemáticos y físicos, pero desgraciadamente da una representación ilegible de una pieza musical.

Lo que un compositor efectivamente hace (o piensa que hace) es algo completamente diferente de especificar una función o su transformada de Fourier. El describe a su música como un conjunto de símbolos en un pentagrama, construyendo una función de dos variables (tiempo (t) y frecuencia temporal (u)) que describe las frecuencias presentes en cada instante de tiempo. Su forma de especificar al tiempo es un poco diferente de como lo haría un matemático, pero ciertamente que lineas verticales en un pentagrama denotan t constante y lineas horizontales denotan u constante. La astucia del compositor se manifiesta en dar una representación facilmente entendible de su música utilizando dos variables duales, tiempo y frecuencia temporal.

Como en el caso de la música, las representaciones espectrales locales, también conocidas como representaciones espacio-fase por analogía con la mecánica (donde la posición y la cantidad de movimiento de una particula se dan simultaneamente en ese espacio), son a veces la forma mas sencilla y práctica de describir ciertos fenómenos. En el caso de la óptica, los formalismos espacio-fase, han concentrado en los últimos años la atención de los investigadores en este campo, debido a que dan una representación de la información, que es intermedia, entre una puramente en función de las coordenadas espaciales y una representación puramente en función de las coordenadas frecuencias espaciales. Este tipo de descripción conduce a múltipes aplicaciones potenciales, tanto teóricas, como prácticas, en la óptica.

Las representaciones espacio-fase mas usadas en la óptica moderna son: la Función de Distribución de Wigner, la Función Ambigüedad de Woodward, el Espectrograma Complejo, y su módulo al cuadrado, el Espectrograma Local. Algunas de ellas fueron adoptadas por la óptica de otras diciplinas, como la Función de Distribución de Wigner de la mecánica cuántica, y la Función Ambigüedad de la teoría de radar.

El objetivo de esta Tesis es el estudio de nuevas aplicaciones de los formalismos espacio-fase en la óptica. En el capítulo I se presenta una descripción de los formalismos a emplear, detallándose sus propiedades y las relaciones matemáticas entre los mismos. En el capítulo II, se describen métodos ópticos para la generación de las funciones espacio-fase. Se discuten distintos procesadores ópticos para la visualización de estas funciones y se detallan además, los aspectos originales derivados de este estudio. En el capítulo III, se analizan los modelos ópticos cuasi-geométricos y su aplicación al estudio de la difracción por objetos tridimensionales (3-D), se establece una relación entre la amplitud de campo de la difracción producida por dichos objetos, y las distintas representaciones espacio-fase. De este modo, las propiedades de estas últimas pueden ser aplicadas al estudio del comportamiento del campo difractado por objetos tridimensionales. En el capitulo IV, se propone una relación entre las funciones características de sistemas ópticos como ser el desenfoque y la razón de Strehl (normalmente tratadas en términos de la óptica de Fourier) y las funciones Espacio-Fase, algunas de las cuales proveen un nexo entre la óptica de Fourier y la óptica geométrica. Finalmente, en el capitulo V, se enuncian las conclusiones generales del trabajo de Tesis.