EDITORIAL

Buran está de nuevo en la calle (en el campus). Y ya son 12. ¿Qué tenemos con nosotros esta vez? Pues como siempre, un poco de todo, que de eso se trata. En seis meses pasan muchas cosas, sobre todo al ritmo que va el mundo, y aunque no todo cabe aquí, algo sí que podemos contar. Probablemente, la noticia del año en nuestro ámbito es el viaje espacial del Sr. Duque, como todos ya sabréis, el primer astronauta español y nuestro hombre en portada. Pero hay mucho más, igualmente meritorio aunque tal vez no tan notorio.

Podréis empezar viviendo las peripecias de nuestra junta en Estambul, a donde acudieron por motivo del último congreso de las ramas de estudiantes del IEEE. Y, aprovechando el viaje, ¿por qué no pasearse por el viejo Egipto? También podremos visitar Berlín, una de las ciudades más cosmopolitas del mundo.

Y para el que alguna vez se haya preguntado de donde viene el nombre de la revista, aquí tenemos el artículo de la Lanzadera Buran, una gran olvidada. Y más información técnica: las telecomunicaciones fotónicas, a un paso de Super Internet, o la aplicación de wavelets a la compresión de imágenes. Pero eso no es todo, hay mucho, mucho más.

Puede que éste sea el mensaje: pasan muchas cosas ahí fuera y habría que hacer un esfuerzo para no dejarlas escapar. El mundo nos ofrece mucho a muchos niveles, hay muchas fuentes de las que beber y aprender. Para esto es básico transmitir el conocimiento, las experiencias. Hablar. Comunicarse. Por cable, vía satélite, con señales de humo... hay muchas formas de hacerlo , y tal como avanza la sociedad actual, las posibilidades se multiplican. ¡Qué lejos estamos de los tiempos de Faraday, Morse o Marconi! ¡Qué poco podían imaginar ellos a dónde nos conducirían sus investigaciones! Probablemente hemos sobrepasado las fantasías más locas de los visionarios de la humanidad. Ciertamente, hay mucha tecnología, y más que aún está por venir, pero todos comprendemos que lo importante es lo que se cuenta, no cómo se cuenta. Que lo que queda es el mensaje.

Así que si tienes algo que decir, no lo dudes y hazlo. Siempre puedes escribir en Buran. De hecho, nosotros sí que tenemos algo que decir. Ésta es una buena ocasión para ello, para anunciaros nuevos cambios, aquí, en el IEEE Barcelona. Tenemos nueva junta, sangre nueva en las venas, que seguro trabajará duro para que todo siga adelante. Y también aprovechamos este espacio para anunciar una nueva división de IEEE: GOAL, con la intención de tratar esos temas «de letras» que no hay que dejar de lado, y para potenciar la comunicación internacional con los grupos de conversa en inglés, francés o lo que sea (si se puede).

Como veis, hay cambio, aunque... todo cambia para que todo siga igual.

EDICIÓN

BARCELONA
Estíbaliz Bear
Marta Castillo
Daniel González
José A. López
Carlos López
Xavier Palau
Daniel Prado
Jose Luis Rodríguez
Jorge Sáiz
Miguel A. Sastre
Marcos Sánchez
Anna Urbiztondo
Jose Castor Vallés

COORDINACIÓN

BARCELONA
Estíbaliz Bear

REVISIÓN
Estíbaliz Bear
Carlos López
José A. López
Daniel Prado
Jorge Sáiz
Marcos Sánchez
Miguel A. Sastre

AGRADECIMIENTOS
Il. Dir. Antoni Elias Fusté, Elisa Pla, Ángel Cardama, Juan Pérez, Pere Camps, Imma Valls, Distorsió, y a los puntos de distribución en la UPC (Abacus, CPET, CPDA y Kiosk Campus Nord).

IMPRESIÓN
RET, s.a.l.

FOTOMECÁNICA
Sistemes d'Edició

DEPÓSITO LEGAL
B-19.950-96

En la portada el astronauta de la ESA Pedro Duque, el primer español en el espacio. Agradecemos a la Agencia Espacial Europea la cesión de la fotografía.

Agradecemos también a la Rama de Astronomia de AESS estudiants su ayuda en la búsqueda de la imagen.

FE DE ERRATAS del número anterior:

En el artículo "Cómo convertir la Sound Blaster en un osciloscopio virtual" la fig.6 (p. 12) se encuentra repetida no observándose los efectos del filtrado. Las imágenes correctas pueden verse en Buran en Internet: *http://citel.upc.es/users/buran/buran11/index.html*

La organización se reserva el derecho de publicar los artículos. La opinión expresada en los artículos no tiene por qué coincidir con la de la organización.

Agradecemos las colaboraciones hechas desinteresadamente, y a causa de la falta de espacio, pedimos disculpas a todas aquellas personas a las cuales no se les ha publicado su colaboración. Esperamos que en un próximo número tengan cabida.

ANÁLISIS DE FUNCIONES MEDIANTE WAVELETS Y SU APLICACIÓN A LA COMPRESIÓN DE IMÁGENES SAR

Carlos López Martínez

Estudiante de doctorado del grupo de Ingenieria Eléctrica y Fotónica (D3)
lopez@voltor.upc.es

1.- INTRODUCCIÓN

En la actualidad la compresión de imagen es un campo del procesado de señal que ha adquirido una enorme importancia. La principal causa de dicha importancia radica en la posibilidad de realizar un tratamiento o procesado de las imágenes, de forma que el almacenamiento o transmisión de dichas imágenes pueda realizarse de forma más eficiente.

El principal objetivo de la compresión de imagen es minimizar el número de bits necesarios para representar la imagen, sin que este hecho suponga un excesiva merma en la calidad. Dependiendo de las pérdidas de la imagen, existen dos tipos de compresión. El primero de ellos se denomina *compresión sin pérdidas*, que se caracteriza por una ausencia de perdidas entre la imagen original y la imagen reconstruida. Estos sistemas se basan, principalmente, en explotar la estadística de la imagen, siendo los factores de compresión que se alcanzan pequeños (menos de 10). El segundo tipo de compresión se denomina *compresión con pérdidas*. En este caso se introducen pérdidas en la imagen reconstruida obteniéndose factores de compresión mucho más elevados. Dentro de la compresión con pérdidas, la forma de realizar la compresión de imagen depende de la técnica empleada [Jai89]. A continuación se muestran las técnicas más empleadas:

• *Codificación de pixel*: Mediante estas técnicas cada pixel es procesado de forma independiente, ignorando las posibles dependencias que existan con otros pixels. Ejemplos de estos sistemas son: PCM, codificación en planos de bits, etc...

• *Codificación predictiva*: Estas técnicas se basan en eliminar la redundancia entre pixels sucesivos y codificar sólo la nueva información. Ejemplos de estos sistemas son: modulación delta, sistema DPCM, etc...

• *Codificación transformada*: En estas técnicas a la imagen se le aplica un proceso de transformación mediante el cual se pretende que en el nuevo dominio la energía esté concentrada en un reducido número de coeficientes transformados. Por lo tanto sólo habrá que enviar estos coeficientes para obtener una imagen reconstruida con una calidad elevada. Es en este tercer grupo en el que se enmarcan por ejemplo el sistema JPEG o la compresión de imágenes mediante wavelets.

En las últimas décadas el análisis de funciones mediante wavelets ha adquirido una enorme importancia en diversos campos de la ciencia, ya que suponen una síntesis de ideas que han ido surgiendo en los últimos veinte o treinta años. A pesar de ello, el campo en el que las wavelets han encontrado su principal aplicación parece ser que es el análisis y compresión de imágenes.

En el siguiente punto se realizará una breve descripción de la teoría de análisis de funciones mediante wavelets, para pasar posteriormente a explicar la compresión de imágenes mediante wavelets. En concreto se mostrará la compresión de imágenes SAR (Radar de Apertura Sintética) mediante wavelets.

2.- LA TRANSFORMADA WAVELET

2.1.- La Transformada Continua Wavelet

En la actualidad uno de los procesos de transformación más empleados es la transformada de Fourier, tanto a nivel de análisis de funciones como a nivel de compresión de imagen. La variante denominada *transformada coseno* o DCT es la transformada empleada en el sistema de compresión JPEG. Debido a que la transformada de Fourier es ampliamente conocida, se partirá de ella con la finalidad de entender de forma más sencilla la transformada wavelet.

Dada una señal $f(t)$ su transformada de Fourier se define como:

$$F(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t}dt \qquad (1)$$

donde $F(w)$ es la transformada de Fourier de la señal $f(t)$. De igual forma la transformada inversa de Fourier, que hace posible la obtención de la señal original $f(t)$ a partir de $F(w)$, se define de la forma:

$$f(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{j\omega t}d\omega \qquad (2)$$

En los dos casos anteriores la base de transformación es la base formada por la funciones exponenciales

$\{e^{j\omega t}\}$. La principal característica de estas funciones es que son funciones infinitas en el dominio temporal t. Este hecho provoca que no se tenga resolución temporal en el dominio transformado o dominio frecuencial ω. Dicho de otra forma, toda característica temporal de la función (transitorios, impulsos, etc...) queda esparcida en todo el dominio transformado. Varias han sido las técnicas destinadas a resolver el problema de resolución temporal en el dominio transformado, siendo uno de los métodos más empleados el enventanado de la base de descomposición, que da lugar a la STFT o *Short Time Fourier Transform*. En este caso todas las frecuencias son analizadas por igual, sin distinción entre ellas.

Una de las principales características de la transformada wavelet, y que la diferencia de la transformada de Fourier, es que se trata de una transformada cuyo dominio transformado posee tanto resolución temporal como resolución frecuencial [Vet95]. Este hecho provoca que no se haya de recurrir a procesos adicionales con el fin de obtener resolución temporal en el dominio frecuencial. De esta forma, la función transformada wavelet de una función unidimensional será una función bidimensional. En la ***Figura 1*** pueden observarse las diferencias entre la transformada de Fourier y la transformada wavelet.

Para poder obtener la doble resolución en el dominio transformado es necesario poseer una base de descomposición cuyas funciones componentes sean de longitud finita, tanto en el dominio temporal como en el dominio frecuencial, de forma que las características temporales de la función original no sean esparcidas a todo el dominio frecuencial [Dau92]. De igual forma que ocurre en la transformada de Fourier, en el caso de la transformada wavelet, la base de descomposición ha de poseer una estructura interna bien definida, de forma que el proceso de transformación sea factible. En el caso de la base de descomposición wavelet se parte de una función principal $\psi(t)$, denominada también *mother wavelet*, a la que se aplican transformaciones de escalado (que se relacionarán posteriormente con la resolución frecuencial) y transformaciones de desplazamiento temporal (que se relacionarán posteriormente con la resolución temporal) [Vet95]. Por lo tanto la base de descomposición wavelet se puede expresar como:

$$\psi_{a,b}(t)=\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \qquad a\in R^{+} \qquad (3)$$

donde b define la operación de desplazamiento temporal y a representa el escalado. Una a de valor elevado ($a>>1$) representará funciones base que identifiquen términos de larga duración, mientras que un a pequeño ($0<a<1$) representará términos de duración corta. Por lo tanto se posee un análisis adaptado a la frecuencia. Una vez definida la base de descomposición, el proceso de transformación se define como:

$$CWT_f(a,b)=\frac{1}{\sqrt{a}}\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi^{*}\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \qquad (4)$$

De igual forma el proceso de antitransformación se define como:

$$f(t)=\frac{1}{C_{\psi}}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} CWT_f(a,b)\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)\frac{da\,db}{a^2} \qquad (5)$$

Como puede verse en *(4)* la señal transformada es una señal bidimensional ya que depende de los valores de a que proporciona la información frecuencial y b que proporciona la información temporal. De igual forma, y salvando las pequeñas diferencias, puede verse la enorme similitud entre los procesos de transformación de Fourier *(1)* y *(2)* y los procesos de transformación wavelet *(4)* y *(5)*.

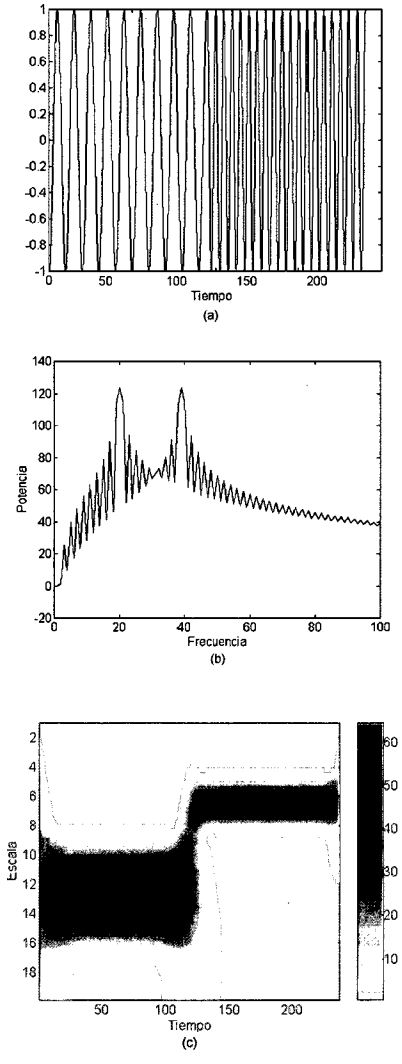


Figura 1: *(a) Señal original formada por dos tonos de diferente frecuencia y no solapados en tiempo, (b) Transformada de Fourier, (c) Transformada Wavelet. Puede observarse como la transformada de Fourier no posee resolución temporal, mientras que la transformada wavelet posee tanto resolución temporal como frecuencial.*

2.2.- La transformada Discreta Wavelet o DWT

Para poder trabajar con señales discretas, y en especial imágenes, se ha de poder trasladar toda la teoría de la transformada wavelet al dominio discreto. El paso para obtener una transformada discreta pasa por realizar una discretización de la base de descomposición. Concretamente, dicha discretización se basa en realizar una discretización de los parámetros a y b de la ecuación *(3)* y que definen la base de descomposición [Vet95]. Para el valor de a se escogerán potencias de un factor de escalado fijo $a_0 > 1$ de forma que $a=a_0^m$ y $m \in Z$. En el caso del parámetro b hay que tener en cuenta que dicho parámetro, que controla el desplazamiento temporal, también depende de la escala o frecuencia. Esta dependencia se debe a que las wavelets de longitud corta (que se relacionan con alta frecuencia) son trasladadas pequeños intervalos, mientras que wavelets de longitud elevada (relacionadas con baja frecuencia) han de desplazarse longitudes mayores. Debido a que el ancho de la wavelet $\psi(a_0^m t)$ depende del valor de m, se escoge la discretización de b como $b=nb_0 a_0^m$, donde $b_0 > 0$ es un valor fijo y $n \in Z$. Mediante esta elección se asegura que las wavelets al nivel o escala m cubran el espacio de la misma forma que lo hacen las wavelets $\psi(t-b_0)$ en la escala cero $n=0$. Por lo tanto la base discretizada puede expresarse de la siguiente forma:

$$\psi_{m,n}(t) = a_0^{-(m/2)}\psi\left(a_0^{-m}t - b_0 n\right) \qquad (6)$$

En este caso los índices de la base pasan a ser n, que indica el desplazamiento temporal (que se comporta como coordenada temporal) y m que es la escala y que puede relacionarse con el inverso de la frecuencia (dando lugar a la coordenada frecuencia). De esta forma la transformada se expresa como:

$$T_f(a,b) = \frac{1}{a_0^{m/2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi\left(a_0^{-m}t - b_0 n\right)dt \qquad (7)$$

Esta transformada crea un plano o grid en el plano tiempo-frecuencia, en el cual los puntos de evaluación vienen determinados por los valores de m y n.

En la ***Figura 2*** pueden verse las diferencias que existen entre la transformada STFT y la transformada DWT. En el segundo caso se muestra que en la DWT se realiza un análisis adaptado de la frecuencia ya que las frecuencias bajas se analizan mediante ventanas temporales de larga duración, mientras que en el caso de altas frecuencias estas son analizadas mediante ventanas temporales cortas. En el caso de la STFT todas las frecuencias se analizan de la misma forma.

En este punto se plantea la cuestión de si es posible caracterizar una función $f(t)$ a partir de sus valores transformados $T_f(a,b)$, o lo que es lo mismo, si es posible

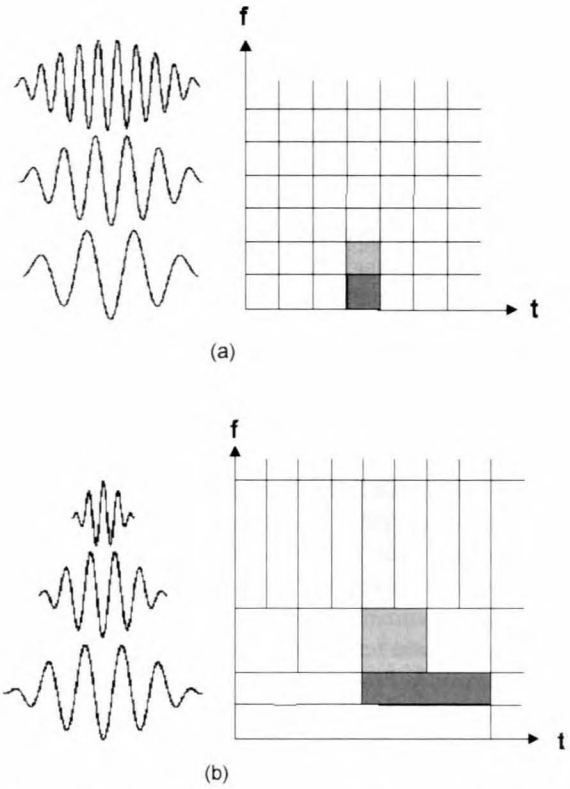


Figura 2: *(a) División o grid que realiza la transformada STFT del espacio tiempo-frecuencia, junto con el aspecto que tiene la base de exponenciales enventanadas. (b) División o grid que realiza la transformada DWT junto con el aspecto de la base wavelet.*

reconstruir la función $f(t)$ de forma *estable* a partir $T_f(a,b)$. Previamente se la llegado a la transformada discreta a partir de una discretización de la base de descomposición $\{\psi_{a,b}(t)\}$. Otra forma de llegar al mismo resultado, y quizás más en consonancia con la estructura de escalas de la transformada, es mediante el *Análisis Multirresolución* [Dau92]. Mediante esta herramienta puede verse que es posible reconstruir una función $f(t)$ a partir de sus valores transformados $T_f(a,b)$.

El enfoque que posee el *Análisis Multirresolución* es describir el aumento de información que sufre una función en un entorno de análisis mediante escalas [Dau92]. Dicho *Análisis Multirresolución* se basa en realizar un estudio del entorno de escalas mediante un álgebra de espacios vectoriales. No es intención de este artículo realizar una exposición detallada del *Análisis Multirresolución*, por lo tanto únicamente se proporcionarán las bases; en la bibliografía proporcionada puede encontrarse todo un análisis detallado.

Si se posee una función $f(t)$ descrita en un entorno de escalas, como el descrito anteriormente, a medida que la escala es menor (mayor frecuencia) los detalles que se tienen de la función $f(t)$ son mayores. Además si la estructura de los espacios es la siguiente:

$$\ldots \subset V_2 \subset V_1 \subset V_0 \subset V_{-1} \subset V_{-2} \subset \ldots \qquad (8)$$

un espacio V_m contiene a los espacios V_n $n>m$. Si ahora se realiza una proyección de la función $f(t)$ sobre el conjunto de subespacios, ésta puede expresarse de la forma:

$$P_{m-1}f(t)=P_m f(t)+\sum_{n\in Z}\langle f(t),\psi_{m,n}(t)\rangle\psi_{m,n}(t) \qquad (9)$$

donde $P_{m-1}f(t)$ y $P_m f(t)$ indican respectivamente la proyección de la función $f(t)$ sobre los espacios V_{m-1} y V_m. La ecuación *(9)* debe interpretase de la siguiente forma: la proyección de una función sobre un espacio dado V_{m-1} puede obtenerse como la suma de dos proyecciones, la proyección sobre un espacio de menor detalle V_m y la proyección sobre un espacio que da las diferencias entre los espacios V_{m-1} y V_m. Esta idea puede expresarse en notación de espacios vectoriales de la siguiente forma:

$$V_{m-1}=V_m \oplus W_m \qquad (10)$$

donde W_m es el espacio diferencia. Este proceso puede llevarse hasta el extremo, de forma que una función en un espacio V_{m-1} puede expresarse de la forma:

$$V_m = V_M \oplus \bigoplus_{k=0}^{M-m-1} W_{M-k} \qquad (11)$$

es decir que una función en un espacio V_m puede expresarse como la proyección en un espacio base junto con las proyecciones en los espacios de detalles W_i.

Todos los espacios son generados mediante una base. En el caso de los espacios V_m, éstos están generados a partir de una función principal $\varphi(t)$ denominada *función de escalado*, generándose la base de la siguiente forma:

$$\varphi_{m,n}(t)=2^{-(m/2)}\varphi\left(2^{-m}-n\right) \qquad (12)$$

En el caso de los espacios W_m, denominados espacios de detalles, éstos son generados mediante la función $\psi(t)$ que es la *función wavelet*. Por lo tanto en este caso la base se genera de la siguiente forma:

$$\psi_{m,n}(t)=2^{-(m/2)}\psi\left(2^{-m}-n\right) \qquad (13)$$

A partir de las relaciones que pueden establecerse entre los diferente espacios, y que exceden el propósito de este artículo, se desprende que la función de escalado $\varphi(t)$ y la función wavelet $\psi(t)$ pueden expresarse de la siguiente forma:

$$\varphi(t)=\sqrt{2}\sum_{n=-\infty}^{\infty}g_0[n]\varphi(2t-n) \qquad \Phi(\omega)=\frac{1}{\sqrt{2}}G_0\left(e^{j(\omega/2)}\right)\Phi\left(\frac{\omega}{2}\right) \qquad (14)$$

$$\psi(t)=\sqrt{2}\sum_{n=-\infty}^{\infty}g_1[n]\varphi(2t-n) \qquad \Psi(\omega)=\frac{1}{\sqrt{2}}G_1\left(e^{j(\omega/2)}\right)\Phi\left(\frac{\omega}{2}\right) \qquad (15)$$

Las relaciones de la columna de la izquierda expresan las relaciones en el dominio temporal, mientras que la segunda columna expresa las relaciones en el dominio frecuencial, obtenidas mediante la transformada de Fourier. Como puede verse, las ecuaciones *(14)* y *(15)* son ecuaciones de convolución con lo cual g_0 y g_1 son filtros. De forma más específica g_0 tiene un comportamiento de filtro paso bajo, mientras que g_1 tiene un comportamiento de filtro paso alto.

Si ahora pasamos de tener una función de tiempo continuo $f(t)$ a tener una secuencia discreta $x[n]$, y a partir de las ecuaciones *(14)* y *(15)* puede verse que puede obtenerse la señal transformada mediante un banco de filtros [Vet95].

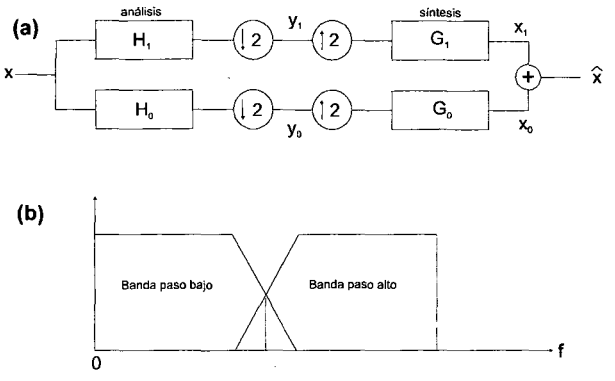


Figura 3: *Banco de filtros de dos canales con filtros de análisis $h_0[n]$ y $h_1[n]$ y filtros de síntesis $g_0[n]$ y $g_1[n]$. (a) Diagrama de bloques, (b) División del espectro realizado por el banco de filtros. x indica la señal original, $\hat{x}$ indica la señal reconstruida e y_i indica la señal transformada.*

Como se observa en la ***Figura 3***, en el caso discreto, la DWT puede obtenerse mediante un banco de filtros. Una de las principales características de este banco de filtros es que se trata de un *banco de filtros de reconstrucción perfecta o QMF (Quadrature Mirror Filters)*. Una de las principales características de este tipo de implementación es la velocidad de realización de la transformada, ya que para conseguir la señal transformada únicamente se ha de realizar un filtrado de la secuencia de entrada. La ***Figura 3.a*** puede relacionarse con la ecuación *(9)*; la proyección en el espacio V_{m-1} es la propia señal original x, mientras que las proyecciones en los espacios V_m y W_m son respectivamente las señales y_0 (señal paso bajo) y y_1 (señal paso alto). Si ahora se procede a aplicar el mismo esquema sobre la señal y_0 se obtienen dos nuevas señales paso bajo y paso alto. El número de veces que se realiza esta nueva división se denomina número de escalas de la transformada y determina la resolución frecuencial en el dominio transformado. Como puede verse se realiza una división logarítmica del eje frecuencial. A este algoritmo, que obtiene la DWT mediante un bando de filtros de forma eficiente se denomina *Algoritmo de Mallat* [Vet95].

Como puede verse en todos lo puntos anteriores se ha tratado con secuencias unidimensionales, como podrían ser secuencias de audio. Como se mostró en la introducción de este artículo, el objetivo final era el

tratamiento de imágenes. Por esa razón se han de aplicar todos lo resultados obtenidos anteriormente a señales bidimensionales o imágenes. Una primera opción sería buscar wavelets bidimensionales puras. Esta opción, aunque válida, es una vía muy difícil de seguir debido a la enorme dificultad de encontrar wavelets bidimensionales. Otra opción, válida también, es el aplicar un esquema separable, es decir, aplicar los resultados anteriores a cada una de las dimensiones de la imagen [Dau92]. O lo que es lo mismo, aplicar es esquema de transformación unidimensional, primero a filas y luego a columnas.

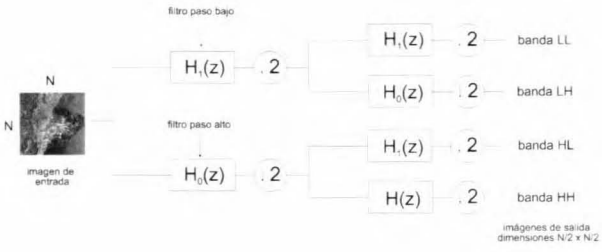


***Figura 4**: Esquema del banco de filtros de dos canáles para su aplicación en imágenes. Se trata de filtros separables aplicados primero a filas y después a columnas.*

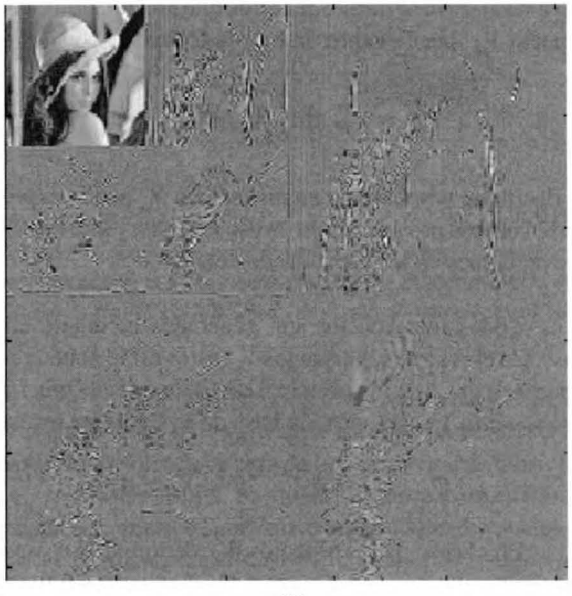
Como puede observarse en la ***Figura 4*** el proceso de transformación de una imagen da como resultado cuatro bandas, denominándose a la banda HH (obtenida a partir de aplicar el filtro paso bajo tanto a filas como a columnas) banda residuo paso bajo. De igual forma que en el esquema unidimensional este proceso puede iterarse a partir de la banda HH aplicando el mismo esquema, obteniendo la imagen transformada con un cierto número de escalas.

2.3.- Filtros Wavelet

Como se ha visto anteriormente, la DWT puede implementarse mediante el *Algoritmo de Mallat*, que básicamente se trata de un banco de filtros. En el caso de la DWT se han conseguido avances con respecto a la transformada de Fourier que son la inclusión de resolución temporal en el dominio transformado y una mayor velocidad de transformación, al tratarse únicamente de filtros. A pesar de tener estos avances hay un punto que implica una dificultad en el análisis de funciones mediante wavelets, que es el encontrar la base de descomposición, o lo que es lo mismo encontrar una función wavelet $\psi(t)$, adecuada al análisis que se pretende realizar. La elección de dicha base determinará cuales son los filtros a emplear. La elección de los filtros dependerá de múltiples aspectos como pueden ser: la aplicación a la que se destina la transformada (compresión, análisis, etc...), el tipo de señal a tratar, etc... lo que dificulta en mayor medida la elección de los filtros [Dau92].

Los tipos de bases existentes son:

(a)



(b)

***Figura 5**: Descomposición en dos escalas de la imagen "Lena". Puede observarse la orientación de cada una de las bandas dentro de una misma escala. (a) Imagen original. (b) Imagen transformada.*

• *Bases ortonormales*: En este caso las diferentes componentes de la base $\psi_{a,b}(t)$ son funciones ortonormales. En este caso y debido a la enorme restricción que representa la ortonormalidad, los filtros en el banco de análisis y de síntesis son iguales (ver ***Figura 4***). En el caso de estas bases se mantiene el *Teorema de Parseval* o conservación de la energía entre el dominio original y el dominio transformado.

• *Bases biortogonales o no ortonormales*: En este caso se relaja la condición de ortonormalidad de las componentes de la base y únicamente se mantiene la independencia lineal de las componentes de la base. Al eliminar la ortonormalidad, provoca que los filtros de

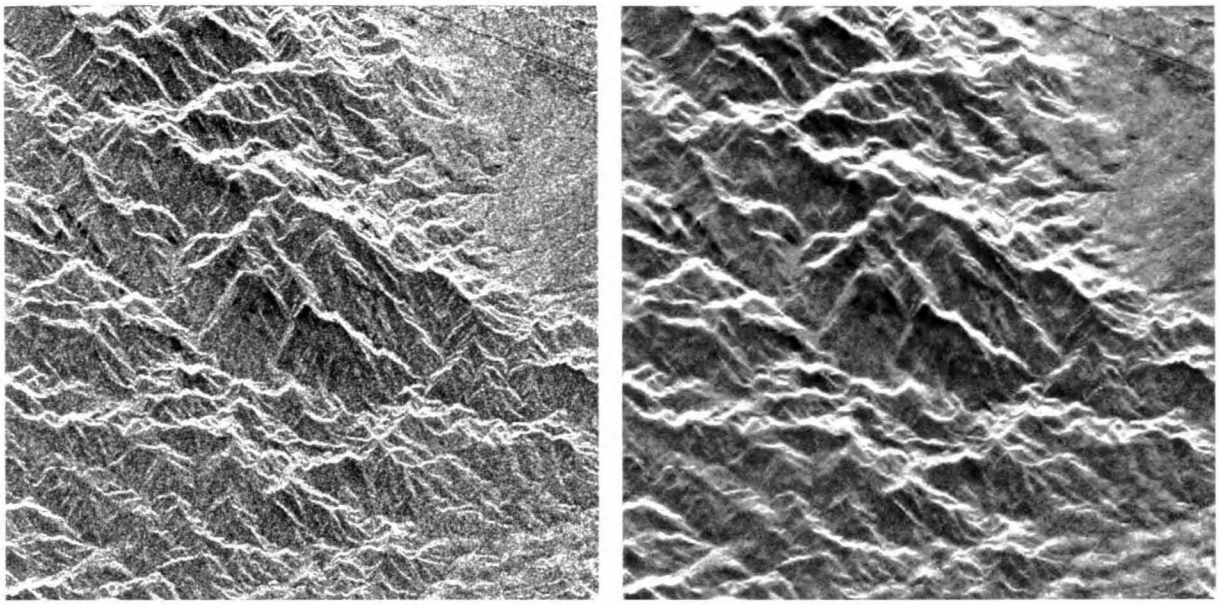


***Figura 6**: (a) Imagen original de 512x512 píxeles. Puede observarse el ruido speckle como el patrón de granularidad superpuesto a la imagen. (b) Imagen procesada con le Método Sigmoid. Se aprecia la enorme reducción de ruido speckle y la casi nula pérdida de resolución.*

análisis y síntesis sean diferentes. En este caso no hay conservación de la energía entre los dominios original y transformado.

• *Bases sobrecompletadas o frames*: En este caso se elimina la condición de independencia lineal de la base de descomposición. Al no ser las componentes linealmente independientes el conjunto de funciones deja de ser una base.

En el marco de compresión se emplean básicamente los dos primeros tipos de bases ya que el tercero, al existir cierta redundancia en la base de descomposición, provoca que una función pueda tener varias transformadas. Además el introducir redundancia posee poco sentido en el campo de compresión de señales.

3.- APLICACIÓN DEL ANÁLISIS WAVELET A IMÁGENES SAR

Una vez establecidas las bases de la transformada wavelet, y más en concreto las bases de un algoritmo eficiente para calcular la transformada discreta wavelet denominado *Algoritmo de Mallat*, se va a mostrar la aplicación de dicha transformada al análisis de imágenes.

En el marco de este artículo, la transformada wavelet se aplicará a imágenes SAR (Synthetic Aperture Radar). En la actualidad la observación de la superficie terrestre o teledetección mediante sensores, ya sean orbitales o aerotransportados, es de gran importancia. Uno de los sensores que más han destacado son los radares de imagen o sistemas SAR (Synthetic Aperture Radar). Esta importancia se ha visto respaldada por varias misiones como son la SEASAT norteamericana, el lanzamiento de los satélites ERS-1 y ERS-2 por parte de la Agencia Espacial Europea y el futuro lanzamiento del satélite ENVISAT (caracterizado por ser un sistema SAR polarimétrico).

Todo sistema radar está caracterizado por dos direcciones principales [Cur91]. La dirección *range* o dirección perpendicular a la dirección de vuelo y la dirección *azimuth* o dirección paralela a la dirección de vuelo. En la dirección *range* tanto un sistema radar convencional como un sistema SAR obtienen la resolución en base a las características del pulso electromagnético transmitido. Es en la dirección *azimuth* donde se encuentran las diferencias entre un sistema radar convencional y un sistema SAR. En el caso del sistema SAR se obtiene una mayor resolución en base a sintetizar una apertura, de mayores dimensiones que la apertura real, observando el desplazamiento Doppler que sufre el eco debido a la existencia de una velocidad relativa entre la plataforma de observación y el objetivo [Cur91]. La síntesis de la nueva apertura se realiza a nivel de procesado de los datos recibidos.

El resultado que ofrece un sistema SAR es una imagen de reflectividad del terreno observado. Las características de este tipo de imágenes son muy diferentes a las de las imágenes ópticas. En primer lugar al tratarse el sistema SAR de un sistema coherente las imágenes son complejas, es decir, cada pixel está definido por un módulo y por una fase. Además este tipo de imágenes posee un margen dinámico mucho más elevado que las imágenes ópticas, codificándose tanto el módulo como la fase con 16 bits cada uno. Los principales problemas que presentan este tipo de imágenes son dos. En primer lugar las imágenes SAR presentan ruido speckle, fruto de la

naturaleza coherente del sistema, que degrada la calidad de la imagen. En segundo lugar las imágenes SAR ocupan un volumen muy elevado, superando el centenar de Mbytes por imagen.

En mi Proyecto Final de Carrera, realizado en el Grupo de Ingeniería Electromagnética y Fotónica del Departamento de Teoría del Señal y Comunicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, he aplicado la teoría wavelet a la problemática de las imágenes SAR, tanto en el campo de la eliminación de ruido speckle como en el campo de la compresión de imagen.

3.1.- Eliminación de ruido speckle en el dominio wavelet

Tal y como se mostró en el punto anterior uno de los problemas de las imágenes SAR es el hecho que presentan un ruido denominado ruido speckle que degrada la calidad de la imagen. La principal razón que explica la aparición del ruido speckle es el hecho de que la celda de resolución o pixel es rugosa a la frecuencia de trabajo [Cur91]. Por lo tanto la amplitud de un pixel puede observarse como la suma coherente de un elevado número de reflectores. Otra de las características del ruido speckle es que se trata de un ruido multiplicativo y un ruido espacial (y no temporal).

Los principales sistemas de eliminación de ruidos speckle son los sistemas denominados *Multilook*, que se basan en realizar un promediado de pixels independientes, y los sistemas de filtrado espacial. El principal problema de este tipo de sistemas es la reducción de la resolución de las imágenes. Empleando la transformada wavelet se pretende realizar una eliminación de ruido speckle, pero que no implique una pérdida de resolución de la imagen.

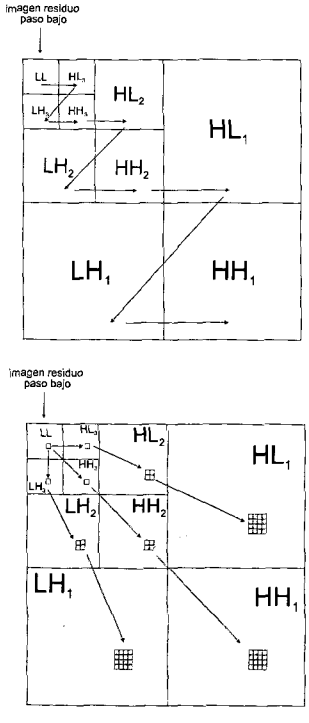


Figura 7: *En la parte superior se observa la forma de escanear las diferentes bandas. En la inferior se observa la relación entre los coeficientes de diversas escalas.*

En el dominio transformado wavelet el ruido speckle está presente principalmente en las escalas pequeñas (o de alta frecuencia) debido a que se trata de un ruido de alta frecuencia. Además el ruido speckle está compuesto básicamente por los coeficientes de pequeño valor. Por lo tanto los métodos de eliminación de ruido speckle, en el dominio wavelet, se basan en eliminar los coeficientes de pequeño valor. Existen dos métodos principales. El primero, denominado *Método Donoho,* se basa en eliminar los coeficientes más pequeños que un cierto umbral y el segundo denominado *Método Sigmoid* que se basa en ecualizar los coeficientes transformados. Mediante el segundo método los resultados obtenidos son mucho mayores ya que no implica tanta pérdida de información como el *Método Donoho.*

3.2.- Compresión de imágenes SAR en el dominio Wavelet

El enorme volumen de las imágenes SAR, que pueden llegar a ocupar 130 Mbytes, hace necesario el empleo de un proceso de compresión para que tanto el almacenamiento como la transmisión de dichas imágenes sea más eficiente.

Cuando se emplea un dominio transformado para realizar el análisis de una función, como puede ser el empleo de la transformada de Fourier o la transformada Wavelet, la información que proporciona un coeficiente está determinada por dos factores: el valor del coeficiente y la posición que ocupa dentro del dominio transformado. Por lo tanto el coste de la codificación de una imagen puede dividirse en dos partes: la codificación de los valores de los coeficientes y la codificación de los *Mapas de Significancia.* Los mapas de significancia dan información de la posición de aquellos coeficientes que serán empleados para la obtención de la imagen reconstruida. A medida que la compresión aumenta el coste de codificar los mapas de significancia aumenta, por lo tanto todos aquellos algoritmos que se basen en reducir el coste de codificar los mapas de significancia podrán conseguir mayores calidades de imagen a factores de compresión más elevados.

La idea básica que hay detrás del empleo de la transformada wavelet para comprimir una imagen es el hecho que en el dominio transformado la energía de la imagen se concentra en un conjunto de coeficientes. Por lo tanto el proceso de compresión se basa en decidir el conjunto de coeficientes que serán transmitidos, sin que la calidad de la imagen sufra una pérdida elevada. Otra de las razones de emplear al transformada wavelet es el

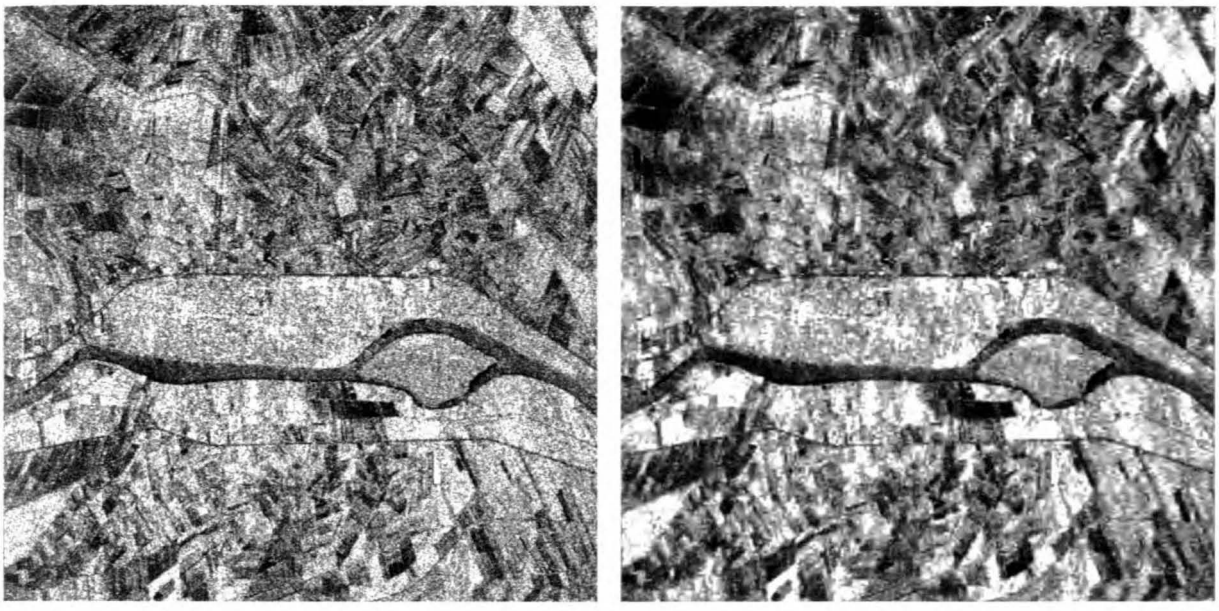


Figura 8: A la izquierda se tiene la imagen original. A la derecha la imagen obtenida con un factor de compresión C=32 (0.5 bpp). Se ha empleado el método Sigmoid de eliminación de speckle junto con filtros biortogonales. Se puede observar el alto mantenimiento de los detalles de la imagen. La imagen ha sido reconstruida únicamente con 21340 coeficientes de un total de 262144 lo que muestra la capacidad de concentración de la energía de la Transformada Discreta Wavelet.

hecho que dicha transformada presenta un coste operacional muy bajo, con lo cual puede aplicarse a la imagen completa. En el marco de este proyecto se han empleado varias imágenes de 512x512 pixels a las que se aplica la transformada por completo. Al aplicar la transformada a la imagen se evita la aparición del efecto bloque, típico por ejemplo del sistema de compresión JPEG. Dentro del dominio wavelet hay varios métodos que pueden emplearse para comprimir imágenes. En el caso que nos ocupa se ha empleado el método EZW (*Embedded Zero Wavelet)* inventado por Jerome M. Shapiro [Sha93]. El sistema EZW se basa en realizar una codificación eficiente de los Mapas de Significancia empleando una estructura denominada *Zerotree*. Otra de las características del sistema EZW es que puede ser un sistema de transmisión progresiva.

3.2.1.- Codificación de los mapas de significancia

Todo coeficiente x que cumpla que $|x|\geq T$, donde T es un umbral definido, se denomina coeficiente significativo. La estructura *Zerotree* pretende codificar la significancia de los coeficientes de forma eficiente.

Dada una imagen transformada mediante la DWT se procede a barrer las bandas de la forma mostrada en la ***Figura 7***. Los coeficientes de diferentes escalas pueden relacionarse entre si, ya que aquellos coeficientes que ocupan la misma zona espacial en diferentes escalas aportan información de la misma zona de la imagen original. De esta forma se pueden definir coeficientes *padres* y coeficientes *descendientes* tal y como se muestra en la ***Figura 7***.

Los coeficientes se codifican entonces de la siguiente forma:

· *Significativo positivo*: Si $x \geq T$.
· *Significativo negativo*: Si $x \leq -T$.
· *Cero aislado*: Si $|x|<T$ pero algún coeficiente descendiente es significativo.
· *Zerotree*: Si $|x|<T$ y todos los coeficientes descendientes son significativos.

De esta forma se ha codificado la significancia de los coeficientes únicamente con un alfabeto de cuatro símbolos.

3.2.2.- Codificación de una imagen

La codificación propiamente dicha, se basa en la codificación de la imagen mediante la codificación de varios Zerotrees. De esta forma se puede establecer una estructura que describa un aumento progresivo del detalle de la imagen. El nexo de unión de los diferentes Zerotrees es el umbral de significancia T. Los umbrales se escogen de la forma:

$$T_0 = \frac{|x_{max}|}{2} \qquad T_i = \frac{T_{i-1}}{2} \qquad (16)$$

donde T_0 es el umbral inicial y $|x_{max}|$ es el coeficiente transformado máximo. El proceso de codificación es un proceso iterativo en el que se codifican varios Zerotrees.

Los pasos dentro de cada una de las iteraciones son:

· *Paso Dominante*: En el que se codifica un Zerotree con respecto al umbral T_i obteniendo una lista de símbolos denominada *Lista Dominante*.

***Figura 9**: A la izquierda se tiene la imagen original de 512x512 píxeles. A la derecha la imagen obtenida con un factor de compresión C=128 (0.125 bpp). Se ha empleado el método Donoho de eliminación de speckle junto con filtros biortogonales. Se puede observar que en la imagen reconstruida no aparecen artefactos extraños fruto del proceso de compresión. La imágen ha sido reconstruida únicamente con 3108 coeficientes de un total de 262144.*

· *Paso Subordinado*: En este paso se añade un bit más de resolución a los coeficientes clasificados como significativos. En este caso se pueden reutilizar dos símbolos del paso anterior, ya que en todo momento se puede saber, dentro de bit stream, en que punto se encuentra el proceso de codificación. El resultado de este proceso es una *Lista Subordinada*.

Como se desprende de la explicación anterior la cuantificación de los coeficientes está gobernada por el número de iteraciones que realiza el sistema de compresión. Es el conjunto de listas dominantes y subordinadas el que contiene la imagen comprimida. Como se observa la imagen se ha codificado únicamente con un alfabeto de cuatro símbolos como máximo.

Posterior al proceso de compresión se aplica un proceso de codificación entrópica mediante un *codificador aritmético* [Kie—]. La principal función de este segundo proceso es la reducción de la entropía de los símbolos. Debido a que el alfabeto se compone únicamente de cuatro símbolos, se puede mantener un modelo muy preciso, y sencillo a la vez, de las probabilidades de aparición de los símbolos, hecho que redunda en un aumento de la eficiencia de compresión del sistema.

4.- CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con respecto a la eliminación de speckle y a la compresión de imágenes SAR muestran que la teoría de análisis de funciones mediante wavelets es perfectamente aplicable a la problemática SAR.

En primer lugar, la DWT se caracteriza por realizar una elevada concentración de la energía en un número mínimo de coeficientes, que junto con una codificación eficiente de los mapas de significancia por parte del sistema EZW dan lugar a un sistema de compresión muy robusto.

Por otro lado, antes de comprimir una imagen SAR, se le aplica un proceso de eliminación de speckle, ya sea el método Donoho o el método Sigmoid. Los buenos resultados obtenidos con respecto a la compresión se deben en gran medida a la aplicación de dichos procesos de eliminación de ruido speckle. Por lo tanto puede afirmarse que los procesos de eliminación de speckle poseen una enorme importancia a la hora de aplicar posteriores sistemas decompresión de imágenes SAR.

5.- BIBLIOGRAFÍA

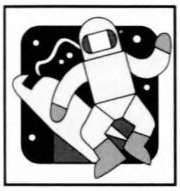
[Cur91] Robert C. Curlander. Synthetic Aperture Radar. NY: John Wiley & Sons, Inc, 1991.

[Dau92] Ingrid Daubechies. Ten lectures on Wavelets. Philadelphia: SIAM, 1992.

[Jai89] A. K. Jain. Fundamentals of digital image processing. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1989.

[Kie—] John Kieffer. "Lectures on source coding". www.ee.umn.edu/users/kieffer/index.html

[Vet95] Martin Vetterli y Jelena Kovacevic. Wavelets and subband coding. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1995.



EL PRIMER ESPAÑOL EN EL ESPACIO

Daniel V. González Alonso

Socio colaborador de AESS Estudiants
danig27@casal.upc.es

Foto oficial con los componentes de la Misión STS-95

"Todavía no me he acostumbrado a ver mi cara en las fotos..."

A uno le podría sorprender que un astronauta, escogido entre más de 10.000 preparados profesionales, le cueste asumir su popularidad 6 años después de comenzar su entrenamiento.

Pero es que el caso de Pedro Duque, 35 años, Ingeniero Aeronautico y astronauta de la ESA, no es de los que se dice "típicos".

Pedro Duque, pese a haber sido seleccionado hace más de 6 años, ha tenido que esperar 3 misiones para finalmente subir al espacio, ya que en las dos primeras fue relegado a formar parte de la tripulación suplente, pese a estar perfectamente preparado para realizar las tareas encomendadas.

Esta espera supuso una gran prueba de fe, planteandose en ocasiones su continuidad en el cuerpo de astronautas, ya que invertir tanto tiempo en una empresa de la cual no se obtiene ningún fruto y no existe seguridad alguna de que se vaya a ser seleccionado (sobre todo para un astronauta "novato"), hace que las opciones de volver a la empresa privada, con un sueldo mayor en muchas ocasiones, se hagan especialmente atractivas.

Sin embargo, él decidió esperar y finalmente se vió recompensado al ser seleccionado como Especialista de Misión para la tripulación de la misión STS-95, a bordo del transbordador Discovery.

Cuando fue seleccionado para esta misión, todavía no estaba al corriente de que la STS-95 iba a ser una misión especial no sólo para él, sino para el público en general...

La STS-95 fue seleccionada para devolver al servicio activo al Senador John Glenn, de 73 años, el primer americano en el espacio, toda una leyenda. Y es que esta misión no fue seleccionada al azar, ya que entre la tripulación figuraban 3 médicos, incluida una cardióloga,

lo cual la hacía perfecta para vigilar atentamente la salud de John Glenn y actuar en caso necesario.

La NASA realiza cada cierto tiempo misiones de este tipo, dado que el apoyo popular en los USA es primordial a la hora de asignar los presupuestos. Otro caso fue el de la sonda "Pathfinder", que llegó a la superficie marciana exactamente el dia de la independencia de los USA.

Fue la STS-95 una misión de Relaciones Públicas para la NASA, ya que, pese a llevar una importantísima carga de trabajo científico, la vuelta del Senador Glenn al espacio supondría un aumento de apoyo popular al sector espacial, así como una mayor unión entre las fuerzas políticas en la financiación de la NASA (recordemos que el Senador Glenn es republicano).

Así, Pedro Duque se vió envuelto en el revuelo mediático producido por la vuelta de la leyenda, lo cual si bien se podría interpretar como un "enmascaramiento" de la importancia de la misión científica en si, también nos dio la oportunidad de seguir toda la misión sin problemas, ya que pese al pobre seguimiento que tienen los eventos científico-tecnológicos en España, la cadena norteamericana CNN se encargó de cubrir todos los detalles de la misión dia a dia.

Centrándonos en la misión en si, Pedro Duque estaba al cargo de los experimentos europeos en el Discovery, así como del mantenimiento de todos los ordenadores portátiles a bordo, los cuales controlaban los experimentos.

Los ordenadores del Discovery, o de cualquier otro transbordador, no podrían hacerse cargo del control de los experimentos, ya que están basados en procesadores Intel 8086 o anteriores.

La responsabilidad del trabajo era mucha, pero cabe destacar que después de sus 6 años de experiencia en el estudio de sistemas tanto rusos como estadounidenses, su preparación era superior a la de la mayoría de los astronautas en activo.

Y es que cuando se piensa en la preparación de un astronauta, en sus virtudes o capacidades, sólo se suele considerar sus aptitudes físicas: su capacidad para adaptarse a la microgravedad, su buena salud, etc... pero un astronauta es un profesional muy preparado que tiene que enfrentarse a tareas para las que no estudió en un principio.

Si tuvieramos que hacer una radiografía al trabajo para el que se tiene que preparar un astronauta, obtendríamos esta lista de responsabilidades:

- Ingeniero de Vuelo
- Técnico de Comunicaciones
- Ayudante de Laboratorio
- Médico
- Operario de maquinaria especializada
- Informático
- Biólogo, químico, veterinario, etc... dependiendo de los experimentos
- Cobaya
- Relaciones Públicas
- En general, ser un "bueno para todo"

Pedro Duque gravitando a bordo de la nave Discovery

Hay que recordar que están sólos allí arriba, y que si algo no sale como estaba previsto, no suelen haber recambios para muchos de los experimentos. Experimentos, por otra parte, que requieren un conocimiento exhaustivo de la materia sobre la que tratan, lo cual implica

Los compañeros de Pedro le pusieron el apelativo "Juan Glenn", por ser el primer español en el espacio, y también "Science Man", ya que era el miembro de la tripulación con mayores conocimientos teóricos.

Pedro Duque estaba al cargo de los experimentos europeos en el Discovery, así como del mantenimiento de todos los ordenadores portátiles a bordo, los cuales controlaban los experimentos.

intensas sesiones teóricas durante el periodo de entrenamiento.

De esta manera, vemos que tiene que existir un equilibrio entre la carga teórica y práctica en el entrenamiento de los astronautas, que varía dependiendo de la misión y, sobre todo, de la agencia espacial.

La Agencia Espacial Rusa da más importancia a la carga teórica que la NASA, ocupando sus sesiones hasta un 40% más. Esto es comprensible si vemos la duración de las misiones de una y otra agencia, ya que las misiones del Space Shuttle tienen una duración de 2 semanas y las de la estación MIR, unos 6 meses, lo cual hace que la NASA especialice más a sus astronautas.

Según Ulf Merbold, astronauta de la ESA (3 Vuelos, 2 Shuttle, 1 Mir), que se entrenó junto a Pedro Duque:

"Si tuviera que destacar una parte del entrenamiento como el más difícil, yo diría que fueron los cursos de Ruso... fue difícil adaptarse a trabajar en ese idioma."

Todos los utensilios, contenedores de comida, etc... disponen de tiras de velcro para ser fijados a la mayoría de superficies de la nave.

Además del entrenamiento teórico los astronautas se someten a numerosas sesiones prácticas sobre los sistemas de la nave, ya sean los específicos de la misión (uso de los controles de la bodega de carga, sistemas de control y comunicación, etc...) como los del dia a dia: cómo utilizar el lavabo, donde *enganchar* la comida, donde situarse en cada momento para realizar el trabajo, etc...

Además de estas sesiones, una de las tareas de los astronautas veteranos de la misión es ayudar a los "novatos" a adaptarse a la vida en la nave una vez en órbita.

Tanto en las lanzaderas como en la MIR, siempre hay una pequeña corriente de aire destinada a retirar el CO_2 que exhalan los astronautas al respirar. Si no existiera, los astronautas se intoxicarían si no se movieran, dado que el CO_2 siempre permanecería delante suyo.

La ingestión de liquidos es importante para los astronautas

Otro aspecto importante del entrenamiento es, obviamente, el aspecto físico, ya que si algo tienen muy limitado las misiones del Shuttle es, precisamente, el tiempo. Esto hace inviable el disponer de un tiempo de adaptación suficiente a la microgravedad, por lo que los astronautas han de estar preparados físicamente para superar estos cambios en poco tiempo y poder comenzar a trabajar en las tareas asignadas.

Dada la cantidad de agua que generan los sistemas de energía de la nave, toda la comida está deshidratada, ahorrando tambien peso.

Entre estos ejercicios de preparación está el avión de vuelo parabólico, que se utiliza para simular la ingravidez durante periodos de unos 20 segundos, volviendo a vuelo normal y repitiendo la maniobra (en intervalos de 5 minutos).

Mientras que los pilotos de los aviones estadounidenses de simulación de microgravedad suelen basarse en las lecturas de sus sofisticados medidores de gravedad aparente, los pilotos franceses de la agencia espacial francesa prefieren un metodo mucho mas rudimentario, aunque igualmente efectivo: Situan un bolígrafo enfrente de ellos y lo sueltan al iniciar la maniobra. Si el bolígrafo se mantiene flotando en la misma posición, la maniobra es correcta; si el boligrafo baja o sube, rectifican hasta que se queda inmóvil.

Estos vuelos se utilizan principalmente para practicar cosas como ponerse el traje en ingravidez, uso de varias herramientas, y sobre todo el desplazarse por el interior de la nave.

Volvamos a la misión STS-95.

Mientras en Estados Unidos toda la atención se centraba en John Glenn, en España los medios de información se volcaron sobre Pedro Duque, con reportajes, entrevistas, etc... y los mismos periodistas que habían bautizado a Miguel López Alegría como "el primer astronauta español", ahora consideraban a Pedro Duque el primero.

Para resolver esta duda, le pregunté a Pedro Duque sobre Miguel (Mike) López Alegría, si él le veía Español o "Yankee", a lo cual me contestó: "Mira, como dice un colega mio de padres argentinos, también astronauta: 'Ese Mike es puro gringo'".

Así, como siempre, la prensa compensó 6 años de total abandono de Pedro Duque con un intenso seguimiento durante los días previos al despegue.

Logo oficial de "El primer Español en el espacio" diseñado por Mariscal

La Agencia Espacial Europea sí que siguió a su astronauta durante toda la misión, dándole al acontecimiento la importancia requerida, y encargando a Mariscal un logo para "El primer Español en el espacio".

Precisamente el dia del lanzamiento la ESA preparó un acto para celebrar la puesta en órbita de Pedro Duque, que se llevó a cabo en el centro de seguimiento de Villafranca del Castillo (VILSPA).

El acto fue conducido por Lorenzo Milá, conocido presentador de noticias de "La 2", y en él participa-

Lanzamiento del Discovery

ENTREVISTA CON ULF MERBOLD

Ulf Merbold, también en el acto, accedió a contestar algunas preguntas para "Buran".

Buran: ¿Cuál es su opinión sobre Pedro Duque?

U.M.: Pedro es una persona muy preparada, y suele congeniar con la gente con bastante facilidad. Creo que lo hará muy bien en esta misión.

Buran: Después del lanzamiento, y una vez que se ha llegado a la órbita, ¿se pondrán a trabajar sin más tardar, sin tiempo de adaptación?

U.M.: Bien, desde que se llega a la orbita hasta que se empieza a trabajar pasan unas tres horas, ya que hay que quitarse los trajes, abrir la bodega para que los radiadores disipen todo el exceso de calor producido durante el despegue, conectar los sistemas... así que hay un tiempo de adaptación.

Buran: ¿Cuál es el programa para el primer dia? ¿Se van a dormir pronto o se alarga el dia de trabajo?

U.M.: Normalmente el primer dia suele ser bastante intenso, se tienen que preparar todos los experimentos y comprobar todos los sistemas de la nave. Han despegado a las 15h, así que todavía falta bastante antes de que sea la hora para ir a dormir. Además, el primer dia cuesta bastante dormir, no sólo por la adaptación a la microgravedad, sino por la excitación de estar en el espacio.

En tierra nos programan 8 horas para dormir, cosa que casi nadie hace, es demasiado.

Buran: ¿Qué se suele hacer en los ratos de tiempo libre? ¿La gente se lleva juegos, hace cosas que le gustaría probar en ingravidez?

U.M.: (Sonrisa) Bueno, entre otras cosas, nos solemos llevar música, ya sea en cinta o CD, algún libro... pero normalmente no se suelen utilizar, ya que nos solemos pasar la mayor parte del tiempo mirando por las escotillas... el resto de cosas las podemos hacer cuando volvamos a la tierra, pero estas vistas sólo las tienes allí.

Buran: ¿Después de tres misiones, tiene pensado volver a subir?

U.M.: No, creo que ya es hora de dejar paso a los nuevos astronautas, como Pedro. Supongo que trabajaré en la universidad.

Buran: Muchas gracias por su tiempo.

U.M.: De nada, es un placer.

ron diversas personalidades relacionadas con la ESA y el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial), organismo que gestiona las relaciones entreel gobierno español y la agencia espacial europea.

Durante dicho acto tuve la oportunidad de hablar con diversos cargos de la ESA, los cuales se mostraron muy satisfechos por los últimos exitos conseguidos por los proyectos de la agencia, entre los cuales se encuentran, además del vuelo de Pedro Duque en la misión STS-95, el perfecto funcionamiento del Ariane 503 y del módulo de reentrada, que servirá de "bote salvavidas" para los astronautas de la Estación Espacial Internacional.

La misión transcurrió sin incidentes de importancia (se desprendió la tapa del paracaidas, dejando abierta la posibilidad de que se hubieran dañado; y un pequeño escape de un motor de maniobra) y la Discovery aterrizó en Florida sin ningún problema.

¿Qué le espera ahora a Pedro Duque?

Después de los excelentes comentarios del comandante de la misión, el experimentado astronauta Curt Brown, y dada su edad (joven para ser astronauta) que le supone bastantes años de potencial servicio activo, es muy probable que sea uno de los astronautas europeos que realizarán una de las primeras estancias en la Estación Espacial Internacional. (ISS).

Mientras tanto seguirá viviendo en Houston ayudando a los equipos de ingenieros a mejorar y diseñar los sistemas interfaz hombre-máquina para las lanzaderas y la ISS.

Esperemos verlo en futuras misiones, se lo merece.

AGRADECIMIENTOS

PEDRO DUQUE *y* ULF MERBOLD, *astronautas de la ESA por su amabilidad y su siempre limitado tiempo.*

VALERIANO CLAROS, *Director de VILSPA*

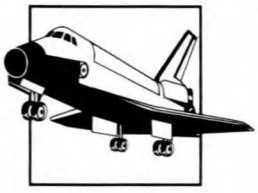
JOAN CARLES OLMEDILLAS, *ICC*

BETINA, JACQUELINE, ANNE, *y demás personal de la ESA por hacer la visita al centro una grata experiencia.*

CLAIRE MATTOK, *relaciones públicas de los astronautas, ESA*

PAQUITA CILLER, *Museu de la Ciència de Barcelona, Fundació "La Caixa" por su ayuda en la conferencia que Pedro Duque dio para AESS Estudiants (12-97)*

y, especialmente, a JOAN DE DALMAU, *Directorado de Lanzadores, ESA, por facilitarlo todo.*



LANZADERA BURAN, UNA GRAN DESCONOCIDA

Daniel Prado Rodríguez

Estudiante de la ETSETB y
Miembro de la Rama de Estudiantes del IEEE Barcelona
daniel25@casal.upc.es

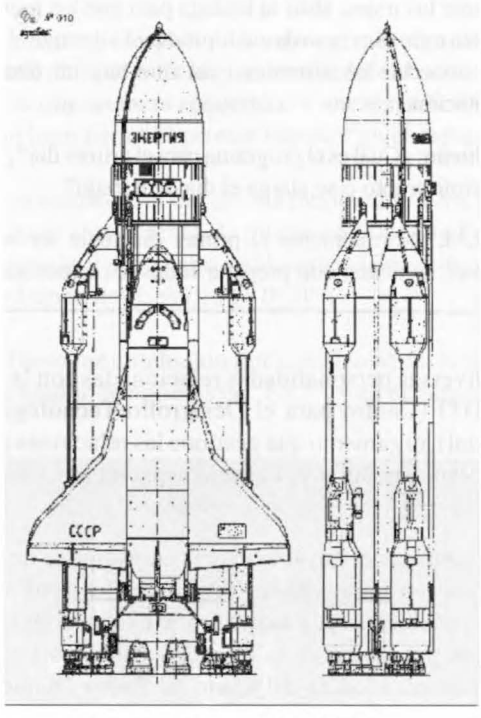
Quizá haya muchos de nuestros lectores (especialmente aquellos más recientes) que desconozcan de donde procede el nombre de nuestra revista, "Buran". Para aquellos que no lo sepan, Buran fue la lanzadera espacial rusa, el primer y último vuelo de la cual se produjo el 15 de noviembre de 1988. No es de extrañar que pocas personas la recuerden o sepan de su existencia debido a las circunstancias que rodearon el desarrollo del proyecto y a la corta vida del mismo.

Pues bien, este año se cumple el décimo aniversario de aquel acontecimiento, y puesto que tenemos el honor de llevar su nombre, hemos querido recordar a "Tormenta de Nieve" (traducción de "Buran"), esperando que con este artículo haya más gente que conozca su corta aunque interesante historia.

El aspecto externo del transbordador puede resultar extremadamente parecido a su "competidor" americano, pero esta aparente similitud no nos debe hacer pensar que Buran es una "copia" del Columbia. A modo de ejemplo, la Buran podía realizar misiones no tripuladas, de forma totalmente automática (tal y como demostró en su vuelo inaugural).

Una diferencia primordial entre las dos lanzaderas es el diseño del sistema de empuje en el lanzamiento. El transbordador soviético carecía de motores principales que impulsasen a la nave durante el despegue; en su lugar, estaba provista de unos motores menores que se utilizaban en la última fase de la puesta en órbita. Esto se traduce en que el empuje necesario para las primeras etapas del lanzamiento de la lanzadera dependía exclusivamente del cohete Energía al que Buran iba adosada. A diferencia de este sistema, el transbordador de la lanzadera americana participa directamente en el empuje para el despegue. En la parte de popa dispone de tres motores que se alimentan con el hidrógeno y oxígeno líquidos que contiene el tanque central de combustible, además de disponer de los dos cohetes laterales de combustible sólido utilizados en la primera etapa del lanzamiento. Estos cohetes fueron diseñados para ser reutilizados, pero esto nunca se ha conseguido en la práctica.

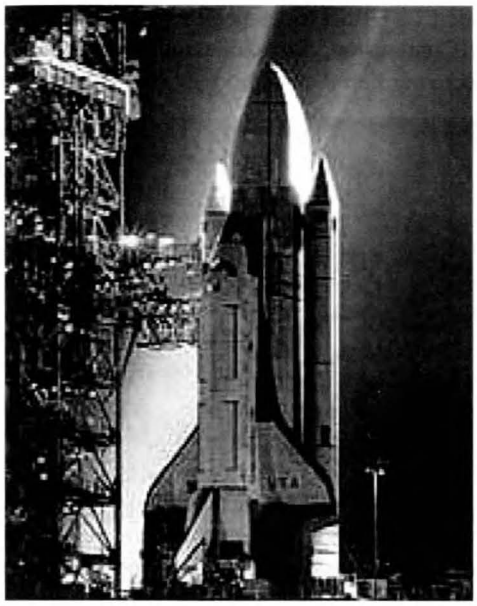
Como acabamos de comentar, el cohete que propulsaba la lanzadera el Energía, el mayor y más potente de los que disponían los soviéticos. La primera etapa del mismo tenía cuatro cohetes laterales múltiples, de cuatro toberas cada uno, que expulsaban los gases a 3018 m/s. Esto constituía un empuje total en el despegue de 2960 t. Se trataba, por tanto, de cohetes de un rendimiento extraordinario, aunque su combustible era simple queroseno y oxígeno líquido. Además, contrariamente a su rival americana, estos cohetes sí eran reutilizables, ya que disponían de un sistema de paracaídas y retrocohetes que permitían un contacto suave con el suelo una vez desprendidos del cohete principal.

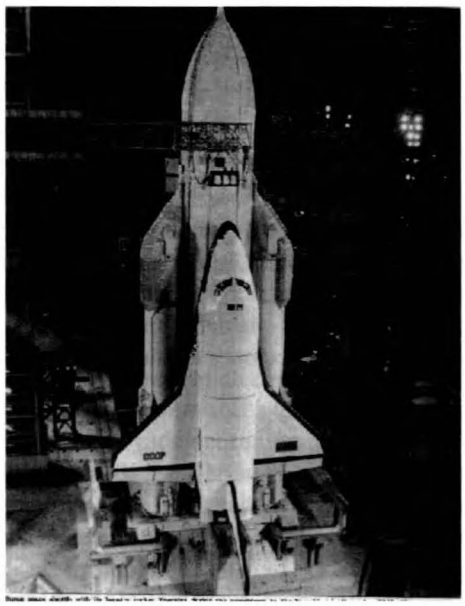


Esquema del sistema Energía-Buran

Durante la primera fase del lanzamiento también actuaba el motor del cohete principal, que también tenía cuatro toberas, desarrollando 592 t. En total, el empuje inicial era de 3550 t. Ya que el sistema Energía-Buran más la carga pesaban unas 2400 t, se producía una gran fuerza ascensional: dos minutos y medio después del despegue la velocidad era de 9000 km./h.

El transbordador Buran medía 36 metros de largo y 24 metros de envergadura, con un peso de 73 toneladas. El fuselaje tenía un diámetro de 5,6 m, mientras que la bodega de carga medía 18 m de largo por 4,7 m de ancho, y podía transportar una carga de 30 toneladas (en una





Las Lanzadera americana y soviética guardaban un gran parecido

órbita de 250 Km y con 8 t de combustible). Estas características eran notablemente superiores a las de su análoga americana, con una capacidad de carga de sólo 25,2 t. Además, la duración prevista para las misiones del Buran era netamente superior a las del 'shuttle'.

Así mismo, cabe resaltar otros datos técnicos, como el volumen habitable, de 73 metros cúbicos. El transbordador estaba proyectado inicialmente para poder ser utilizado 100 misiones, la duración de las cuales estaba prevista ser de 7 días al principio, aunque más adelante se esperaba que pudiesen ser de un mes. La tripulación prevista para las primeras misiones era de 2 cosmonautas, con asientos eyectables hasta 3000 km/h. Más adelante la tripulación podía llegar a 10 personas. Además, Buran estaba diseñado para tomar tierra de forma totalmente automática. Finalmente, la superficie del transbordador estaba cubierta, a semejanza del 'shuttle', por 38.000 placas térmicas que podían resistir 2.000 ºC.

ORIGEN DEL PROYECTO

La idea de fabricar una lanzadera espacial partió de los altos mandos militares rusos. El presidente Nixon había autorizado el proyecto 'shuttle' en 1972, y los rusos estaban preocupados por ello, ya que consideraban que el transbordador podía ser utilizado como arma de ataque, ya que debido a su gran maniobrabilidad y versatilidad podía situarse justo encima de Moscú, quizá transportando un arma "peligrosa".

Los militares soviéticos intentaron convencer al ministro de defensa Grechko de que la URSS debía dotarse de una nave similar, aunque el ministro, sensatamente, estimó que no era necesario. Los líderes de las fuerzas armadas rusas intentaron influir directamente sobre el Presidente ruso de aquel entonces, Leonid I. Brézhnev, y consiguieron convencerle. Finalmente, el 17 de febrero de 1976 el Comité Central del PCUS y el Consejo de Ministros autorizaron el proyecto. En septiembre de 1976 los americanos presentaban en público su primer *Space Shuttle* de pruebas, el Enterprise.

La construcción de la lanzadera comenzó en 1980. Las primeras pruebas de vuelo con modelos a tamaño real se iniciaron en 1984. Uno de las primeras fue un fracaso, ya que el aparato se salió de la pista al aterrizar y quedó destrozado, con dos tripulantes a bordo. A raíz del accidente se cambió el sistema de tests y el nuevo aparato realizó más de 30 pruebas sin problemas.

EL PRIMER Y ÚLTIMO VUELO

Lógicamente, la URSS llevaba un considerable retraso respecto a los EEUU en el proyecto, pero finalmente se programó el primer vuelo de Buran para el 23 de octubre de 1988. Sin embargo, el lanzamiento fue abortado 51 segundos antes del despegue debido a un fallo en el sistema de retirada de la pasarela de evacuación de urgencia, ya que además transportaba cables que actualizaban la información de los ordenadores de la nave. Varios cosmonautas habían estado entrenándose en simuladores, pero la nave no iba tripulada. Probablemente pesó mucho la "reciente" catástrofe del Challenger en 1986 y el miedo a un fracaso estrepitoso.

El lanzamiento se programó entonces para el 11 de noviembre, pero se retrasó por la climatología desfavorable. Finalmente el despegue se produjo a las 6:00 A.M. (3:00 A.M. GMT) del 15 de noviembre de 1988, desde el cosmódromo de Baikonur. 2,75 minutos más tarde se separaron los cohetes laterales de Energía, a 60 Km de altura. El cohete central siguió en funcionamiento hasta los 8 minutos después del lanzamiento, separándose del orbitador a 160 Km de altura. Energía comenzó a caer sobre el Pacífico mientras que 2 minutos y medio después

de la separación, Buran encendió sus cohetes durante 67 segundos alcanzando los 250 Km de altura A las 6.47 A.M. Buran realizó una última maniobra de 42 segundos para circularizar su órbita hasta los 252*256 Km, con una inclinación de 51,63°.

El lanzamiento se anunció una hora más tarde cuando el orbiter realizaba la primera vuelta a la Tierra. La nave mantenía comunicación constante con diversas estaciones terrestres , ofreciendo imágenes de la Tierra entre otros datos. Las órbitas que debía realizar Buran estaban limitadas a 2 por restricciones de memoria.

La segunda vez que Buran sobrevoló el Pacífico, a las 8:20 A.M. se inició la maniobra de reentrada en la atmósfera. Cuando bajó hasta los 120 Km de altura, y durante 20 minutos, se perdieron las comunicaciones con tierra debido al escudo de plasma que se produce debajo del orbiter debido al rozamiento con el aire de la atmósfera. A 40 Km de altura se completó la maniobra de encaminamiento hacia la pista de Tyuratam, a 12 Km del punto de despegue. En los últimos kilómetros, dos cazas rusos MIG-25 siguieron a la nave tomando imágenes de TV.

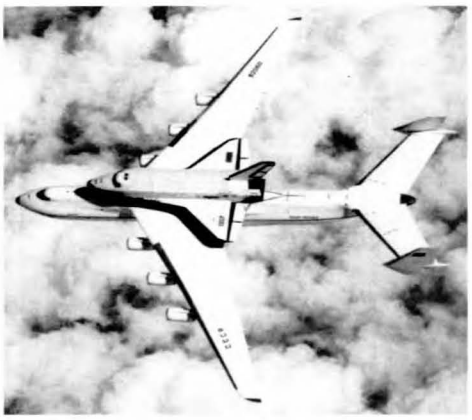
Cuando el orbitador estaba aproximándose al suelo había un viento de 64 Km./h soplando 30° respecto a la pista, viento que estaría muy por encima de los márgenes aceptables para un aterrizaje del 'shuttle' americano. A pesar de todo Buran tocó el suelo a las 9:25 A.M. a 340 Km./h sólo 1,5 m desplazado del eje central de la pista, que tenía unas dimensiones de 4,5 Km x 84 m. Al igual que el sistema americano, se desplegaron 3 paracaídas para ayudar a frenar la nave, que finalmente se paró a unos 1150 m del punto de contacto.

Buran en el momento de tomar tierra

Cabe resaltar que el aterrizaje se produjo de manera totalmente automática, a diferencia del orbitador estadounidense, y con una precisión más que notable. Tras una primera inspección de Buran se comprobó que sólo se habían desprendido 5 de las 38.000 placas térmicas que recubrían su superficie.

ABANDONO DEL PROYECTO

A pesar del éxito del primer viaje de Buran, nunca se produjeron más misiones. Las razones son variadas, entre las principales la situación política y económica de la URSS en la época. La URSS se desmembró en 1991 junto con la caída del Comunismo, y las razones militares para mantener el proyecto perdieron el sentido.



Buran siendo transportado por el gigantesco avión Antonov 225

Sin embargo, no podemos obviar una causa fundamental para el fracaso del proyecto. En realidad, ¿para qué necesitaban los rusos la Buran?. Por aquel entonces ya contaban con las estaciones Salyut y la nueva MIR, mucho más útiles en el campo de la investigación científica por la larga permanencia de los cosmonautas en el espacio, y, además, más rentables. La lanzadera también podía ser usada para poner en órbita satélites y otros artefactos, pero Rusia ya contaba para ello con un amplio conjunto de cohetes entre los que destacaba el nuevo Energía, que además de impulsar a Buran podía lanzar satélites y sondas de gran tonelaje por sí sólo. En definitiva Buran fue simplemente uno de los últimos coletazos de la carrera espacial por parte de la Unión Soviética contra el eterno enemigo, los EEUU. Probablemente lo que pretendían los soviéticos era lanzar a América el mensaje de que cada vez que éstos les amenazaran con algo nuevo, ellos responderían dotándose de lo mismo y con mayores prestaciones.

A pesar de todo ello se fabricó un segundo orbitador llamado Ptichka ("Pequeño Pájaro") que se pensaba lanzar en otoño de 1991. Un tercer transbordador se proyectó en 1992. Ninguno de los dos fue completado.

Finalmente el proyecto Buran fue cancelado el 30 de Junio de 1993 por el Presidente Yeltsin. La cantidad invertida había sido de 20 billones de rublos, y más de 30 cosmonautas se habían entrenado para tripular la nave, una inversión humana y económica demasiado grandes para una nave que a pesar de poseer unas características excepcionales tuvo una vida tan fugaz.

REFERENCIAS

[1] http://solar.rtd.utk.edu/~mwade/craft/buran.htm
[2] http://members.xoom.com/gs_raumfahrt/index.htm
[3] http://www.mcs.net/~rusaerog/boosters/buran.html
[4] http://liftoff2.msfc.nasa.gov/rsa/buran.html
[5] http://www.ccas.ru/~chernov/vsm/h_buran.htm

ESPERANZA Y USO DE PROFESORES

Miguel Escudero

Profesor del Departamento de Matemática Aplicada y Telemática de la UPC
escudero@mat.upc.es

MOTIVOS políticos han puesto de moda la palabra «humanidades». Ha bastado un proyecto del Gobierno para que los políticos se hayan manifestado todos de acuerdo en potenciar esos estudios, no sin antes haber dejado claro que discrepaban en los contenidos. Es evidente que ante la opinión pública, los teóricos humanistas se presentan siempre a la zaga de los políticos.

Podría pensarse que es a causa de ser éstos «los representantes del pueblo», pero a fin de cuentas es difícil olvidar que salen elegidos casi todos mediante listas cerradas y bloqueadas, una manera caciquil que no andan dispuestos a corregir. ¿Por qué mandan, pues, los políticos en el foro? No debería olvidarse que a las puertas del siglo XXI todavía no hemos superado una enfermedad social que consiste en leer todo fenómeno humano en función de la política, lo cual denota consentimiento por el utilitarismo.

"El tipo de hombre que hoy predomina está poseído por la básica creencia de que él lo sabe ya todo..."

Ahora bien, formamos parte de una sociedad estallante de tecnología y huérfana de lirismo, que sufre ocasionales accesos de mala conciencia al evidenciar una pérdida sin fin del sentido de las cosas y de las personas. El papel de los políticos, a pesar de su poder social, suele ser muy poco ejemplar en nuestra sociedad: buscan aparecer, con escasas excepciones, seguros de lo que no pueden estarlo.

Ahora, como hace medio siglo en el decir de Ortega, «el tipo de hombre que hoy predomina está poseído por la básica creencia de que él lo sabe ya todo -es, por definición no 'el hombre de la calle' sino el hombre 'al cabo de la calle', el hombre que no sabe no saber, el fanático». Yo creo que quizá eso explique por qué el político acaba pareciéndose más a un bravucón boxeador que a un tímido profesor.

Este otoño se cumplen cincuenta años de la fundación del Instituto de Humanidades por Ortega y Marías, *dos insensatos* que no tenían nada que perder y que invitaban a unos cuantos para trabajar en un rincón... sin requerir apoyos económicos de nadie. Hoy tiene indudable sentido pensar lo que representó aquel esfuerzo, más aún lo que pretendió ser. A pesar de su éxito, quedó interrumpido dos años después, principalmente por el desánimo personal de sus dos organizadores. Un curso de Ortega llegó a atestar el Cine Barceló de Madrid con más de 1.200 butacas.

No debe extrañar que Marías haya dicho que ese Instituto (legalizado como una dependencia de una modesta academia fundada en 1940) fue el acontecimiento cultural más importante producido en España desde el comienzo de la guerra civil, y que «hizo posibles muchas cosas de los años siguientes».

Pero la hostilidad oficial nunca abandonó a esa empresa dedicada a las ciencias de la realidad humana, que se justificaba por la voluntad de dar alguna transparencia a las cosas humanas, necesitadas de narración, de razón histórica y que perseguía el signo de la calma. Permitió probar que se pueden hacer muchas cosas que se consideran imposibles, por eso la odiaron los «hunos» y los «hotros».

Marías ha recordado que gracias a su escasa importancia, a su nula publicidad, fue una isla de total libertad e independencia. Se entiende que su recuerdo dé razón a la esperanza.

...entre los tres momentos graves en la vida de un hombre está el «perder el uso de sus seres queridos»

Angel González, poeta y académico, ha escrito en uno de sus poemas que entre los tres momentos graves en la vida de un hombre está el «perder el uso de sus seres

queridos». Ahora bien, cuando la presencia física de algunos de ellos nos falta, cuando sabemos incluso que no los podremos ver más en la actual dimensión ¿perdemos inevitablemente su «uso»? Depende. Llegado el caso, se pone a prueba la cantidad y calidad de lo que hayamos podido absorber de esa persona, lo que de ella llevemos dentro.

Impregnados de dolor por el ser ausente, ansiosos por dejarnos penetrar de nuevo por su repertorio de actitudes, quizá por su intimidad, nos asaltarán el silencio melancólico y la rememoranza. «El mundo está callado, pues es viejo / y de muchas vidas ha contado el rosario», así rezan unos versos de William Faulkner, pertenecientes a «Si yo amaneciera otra vez» y excelentemente traducidos por Javier Marías.

«los hechos no guardan relación con la verdad»

El novelista norteamericano, quien por cierto llevaba siempre consigo las obras completas de Shakespeare y leía en voz alta 'Moby Dick' a su hija de corta edad, llegó a afirmar que «los hechos no guardan relación con la verdad», frase misteriosa que invita a cavilar a quien esté por la labor.

En una parte de su segundo y último libro de poesía, se preguntaba si puede haber muerte echando raíces como un árbol: «Aunque esté muerto, / esta tierra que se agarra a mí me encontrará el aliento». Parece claro que esa es la única resurrección que está al alcance de la mano humana; si la de la carne nos espera, será por la gracia de Dios.

El destino concreto del hombre es dejar raíces personales. Y para eso hace falta coger o extraer, que es lo que significa «aprender», de ahí *discere* y discípulo. La misión del «didacta» es enseñar, hacer gestos o ademanes, dar signos y señas con los que orientarse por la vida. Y en esos ensayos permanentes por vivir, cabe observar que todos estamos abocados a ser autodidactas en alguna cosa o en algún grado. Pero no hay que engañarse, no se parte de cero, cada autodidacta tiene ejemplos a los que atiende, y en cierto modo se puede decir que es un «alimentado» (esa es la etimología de alumno).

Está fuera de duda la importancia de la enseñanza en cualquier sociedad, mientras que el papel del profesor anda hoy día desvaído. Invocando de nuevo el origen de su palabra, al profesor le corresponde declarar o confesar abiertamente sobre su «disciplina», para lo cual además de competencia le es menester entusiasmo (¿quiénes lo tienen, quiénes están en condiciones de exhibirlo?).

Está fuera de duda la importancia de la enseñanza en cualquier sociedad, mientras que el papel del profesor anda hoy día desvaído

Para generar alegría de vivir y contagiarla en un aula de enseñanza media, acaso también en la superior, hay que suscitar unas expectativas que van más allá del dominio de una especialidad. Esmerarse en ello daría más satisfacción a los docentes (y de paso les acarrearía más prestigio entre sus estudiantes, el único que de veras compensa los desvelos), que no el suspiro por un reconocimiento social, siempre reclamado y nunca suficiente.

¿De cuántos profesores guarda gran recuerdo el lector? Yo, de algunos, nunca muchos. Siendo muy distintos entre sí, tenían cosas en común: un trato personal con sus alumnos cuajado de veracidad y respeto, un afán enorme por que aprendieran y se hicieran hombres (o mujeres, claro está) de provecho, esto es, honrados.

Para generar alegría de vivir y contagiarla en un aula de enseñanza media, acaso también en la superior, hay que suscitar unas expectativas que van más allá del dominio de una especialidad.

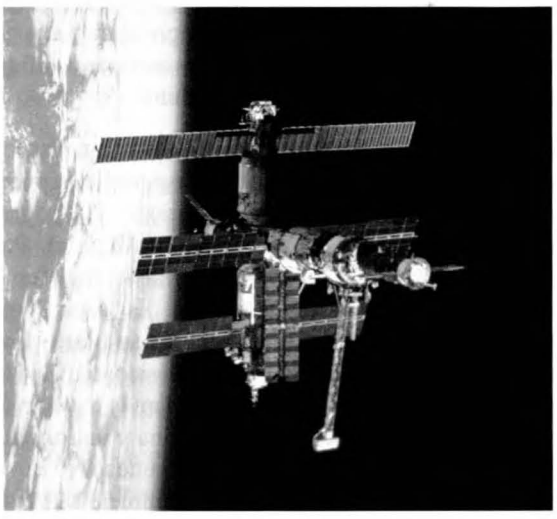
Quienes han tenido una experiencia similar han quedado marcados y su recuerdo renueva la «utilidad» de aquellos profesores, siempre pocos, que hacen perdurar la estela del magisterio. Esos maestros llevan dentro el secreto de muchos buenos profesores.

MIR: PAZ

Juan Pablo Sarasa Delgado

Estudiante de la ETSETB, UPC
Realizando el PFC en la ENST-Bretagne con el programa Erasmus
jp.sarasadelgado@enst-bretagne.fr

Este artículo pretende dar una visión general (no por ello superficial) de lo que es la estación espacial Mir: características principales, descripción de sus módulos, y como no, un breve recorrido histórico a través de sus más de 12 años de existencia hasta la actualidad de última hora. No obstante, no quiero empezar a comentar nada de la Mir sin haber hecho mención de las estaciones espaciales que existieron antes que ella que como veremos no han sido pocas.



La palabra Mir significa en ruso, al mismo tiempo, «paz» y «mundo».

ANTECEDENTES DE LA MIR

Un total de 8 estaciones fueron lanzadas con anterioridad a la Mir: 7 Salyut rusas y el Skylab estadounidense. Todas ellas estaban compuestas por un único módulo:

◆ Salyut 1 (19/4/1971 a 28/5/1973): La más trágica estación espacial de la historia. Su primera tripulación (Soyut 10), tras atracar en el complejo, no pudo igualar la presión entre la estación y su cápsula y por tanto les fue imposible entrar. La misión sólo duró 24 horas. La segunda tripulación (Soyut 11) no tuvo este problema. Los tres cosmonautas (o astronautas rusos) trabajaron durante 24 días realizando experimentos de todo tipo, batiendo así el récord de permanencia fuera de nuestro planeta. La suerte de estos nuevos plusmarquistas se acabó allí, en la maniobra de reentrada, una válvula de su cápsula se abrió accidentalmente y la toda la tripulación falleció al quedarse la cabina sin oxígeno.

◆ Salyut 2 (3/4/1973 a 25/4/1973): Antes de que llegara la primera tripulación, un cortocircuito incendió la estación provocando una despresurización y rotura en 25 fragmentos que acabaron por reentrar en nuestra atmósfera y destruirse por completo un mes más tarde.

◆ Skylab (14/5/1973 a 11/7/1979): Primera y única estación espacial estadounidense. Un fallo en una de las compuertas de su cohete lanzador provocó que ésta no se abriera apropiadamente y dañó el escudo térmico de la estación. Más tarde, ya en órbita, uno de los paneles solares se negó a desplegarse y quedó totalmente inutilizado. Afortunadamente, la primera tripulación pudo arreglar estos desperfectos y los laboratorios de Skylab fueron utilizados por un total de 9 astronautas pertenecientes a tres tripulaciones diferentes. Se tomaron un total de 40.000 fotografías de nuestro planeta y otras 182.000 del Sol entre otros estudios científicos.

◆ Salyut 3 (24/6/1974 a 24/1/1975): Primera estación militar. La tripulación de la Soyut 14 no tuvo ningún problema, sin embargo a la Soyut 15 le fue totalmente imposible entrar por problemas con el atraque.

◆ Salyut 4 (26/12/1974 a 2/2/1977): Esta vez consiguieron entrar las dos tripulaciones (Soyut 17 y Soyut 18). No obstante, el primer lanzamiento de la 18 (Soyut 18-1) fue abortado después de despegar debido a un error en la etapa de separación del cohete, milagrosamente los cosmonautas se salvaron. Hay que destacar también la misión no tripulada: Soyut 20, que logró atracar en la estación de manera totalmente automatizada. Esta misión es la predecesora de las actuales naves de carga Progress.

◆ Salyut 5 (22/6/1976 a 8/8/1977): Segunda estación de tipo militar. Las dos tripulaciones pudieron acceder al complejo y no tuvieron ningún contratiempo.

◆ Salyut 6 (29/9/1977 a 29/7/1982): Primera estación de «segunda generación» pues al contrario que las anteriores Salyut, esta disponía de un puerto de atraque secundario, que era utilizado por naves de carga Progress. Esto aumentaba el periodo operacional de una misma tripulación en la estación dado que se les podía mandar

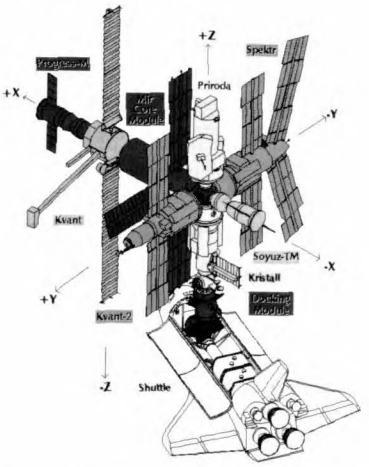
agua y alimentos con esta nave totalmente automatizada. La Salyut 6 fue todo un éxito: 16 de un total de 18 tripulaciones consiguieron atracar y trabajar con éxito en sus laboratorios, es decir: un total de 27 astronautas no sólo de la URSS, también de Checoslovaquia, Polonia, Alemania del este, Hungría, Vietnam, Cuba, Mongolia y Rumanía.

◆ Salyut 7 (19/4/1982 a 7/2/1991): Muy similar a Salyut 6 tanto en su diseño como en su efectividad: Las 10 tripulaciones lograron atracar. Tan solo remarcar que el primer lanzamiento de Soyut T 10-1 fue abortado antes del despegue por un incendio en la base del vehículo. Afortunadamente la tripulación se salvó.

Gracias a las Salyut, la URSS consiguió la experiencia necesaria como para proponerse la construcción de una estación mucho más ambiciosa y su lanzamiento no se hizo esperar.

LA MIR

La estación espacial Mir («paz» en ruso) fue lanzada al espacio el 20 de febrero de 1986 por el vector Proton 8K82K desde el cosmódromo de Baikonur (Asia Central soviética). Su órbita está a una altura media de 390 Km. y tiene una inclinación de 51.6°.



Dibujo esquemático de la Mir con todos sus módulos ensamblados.

Es la primera estación de tipo modular o de «tercera generación», como prefirió denominarla la entonces URSS. Este innovador diseño permite lanzar módulos de menor masa por separado para, una vez en órbita, ensamblarlos. De esta manera se consigue agrandar la estación o reconfigurarla como si de un inmenso «mecano» se tratara. Así pues, desde su lanzamiento, ya se han acoplado un total de 7 módulos que forman una auténtica ciudad espacial de carácter eminentemente científico.

Sin embargo, para garantizar el buen funcionamiento de todos los equipos se requiere una tripulación permanente, normalmente compuesta por tres astronautas. Por eso cada 4 ó 5 meses se envía una nave Soyut y se realiza el cambio de tripulación, y cada 2 meses una nave de carga Progress visita la Mir transportando en su interior alimentos, agua, combustible y repuestos para la estación.

LA MIR PIEZA A PIEZA

La Mir tiene una masa de más de 100 toneladas y unos 33 m. de largo. Está compuesta por 7 módulos y dos naves, una de carga (Progress) y otra para la tripulación (Soyut). La energía necesaria para el buen funcionamiento de la estación es obtenida de sus numerosos paneles solares que tienen un sistema de seguimiento de un grado de libertad para que el Sol incida perpendicularmente en ellos y de esta manera maximizar la potencia obtenida. No obstante, para que se produzca un buen seguimiento solar, la estación debe estar bien orientada, ello se consigue de manera totalmente automática gracias al ordenador central que gestiona dicha orientación accionando, en caso necesario, los motores de las naves Soyut o Progress para de esta manera posicionar correctamente la estación. A pesar de no haber gravedad, los módulos tienen «suelo» y «techo» en su interior, con ello se pretende crear una atmósfera más hogareña. Pero veamos con más detalle en que consisten cada uno de estos módulos:

◆ Mir Core Module (20/2/1986): Al igual que las anteriores Salyut 6 y 7, este módulo dispone de un puerto de atraque para la Soyut y otro secundario para la Progress (posteriormente ocupado por el Kvant Module). Pero además dispone de 4 puertos de atraque radiales de manera que la estación es ampliable. Es la parte más antigua de la estación, pero es también su pieza clave. Contiene dos áreas, una con servicios básicos para la vida de los astronautas: espacios privados para la tripulación, una zona para comer, con mesa y cocina y una zona de higiene con lavabo, WC y ducha; la segunda área es una zona de operaciones que controla el complejo Mir en su totalidad y monitoriza sus sistemas. En esta zona está también el botiquín y una bicicleta estática para poder realizar ejercicios.

◆ Kvant Module (30/7/1987): Contiene todo tipo de instrumentos astrofísicos. Desde este módulo se realizan observaciones para el estudio de la física de las galaxias con actividad, quasars y estrellas de neutrones. Todo ello se consigue a través de la medida del espectro electromagnético y con emisiones de rayos X. El módulo también está equipado para la realización de experimentos biotecnológicos: preparaciones antivíricas.

◆ Kvant 2 Module (26/11/1989): Contiene un compartimento presurizado para poder salir al exterior y realizar maniobras EVA (Extravehicular Activity), más conocidas como paseos espaciales. El módulo también toma datos de investigación biológica y observación terrestre. Contiene depósitos de agua y oxígeno.

◆ Kristall Module (31/5/1989): Su función es la de desarrollar tecnologías biológicas y producir materiales

aprovechando la microgravedad. Contiene un puerto de atraque para naves de más de 100 toneladas. Este puerto fue originalmente diseñado para el transbordador espacial ruso recuperable Buran antes de la cancelación de su programa. Sin embargo, el Atlantis en la misión STS-71 lo aprovechó y atracó en él, no obstante, para que esto fuera posible se tuvo que cambiar la configuración de la Mir, consiguiendo así un mayor espacio de atraque para el Shuttle.

◆ Spectr Module (20/5/1995): Contiene la instrumentación necesaria para la observación terrestre, concretamente en los campos de estudio de los recursos naturales y la atmósfera. El 25/6/1997 recibió el impacto de la nave Progress M-34, se despresurizó y rápidamente fue aislado del resto de la estación, de manera que ha quedado totalmente inutilizado a excepción de sus paneles solares.

◆ Docking Module (12/11/1995): Instalado por el Atlantis en la misión STS-74. Es un módulo de atraque para facilitar las misiones Shuttle-Mir. Gracias a este módulo no hace falta cambiar la configuración de la Mir cada vez que el Shuttle quiera atracar (como se hizo en la misión STS-71).

◆ Priroda Module (26/4/1996): Contiene instrumentos para la observación remota de la Tierra: monitoriza la situación ecológica de zonas industriales, realiza medidas de concentración de ozono u otros gases tóxicos, mide la temperatura en la superficie de los océanos, clasifica la estructura de las nubes, realiza mapas de estructura geológica, toma datos de la utilización de recursos naturales y adquiere información de emergencia para zonas con centrales nucleares o peligros sísmicos.

◆ Soyut-TM: Nave espacial rusa tripulada. Siempre hay una atracada en la Mir y en caso de emergencia o despresurización de la estación puede ser utilizada a modo de «bote salvavidas» por los astronautas para volver a nuestro planeta. Sus motores, mientras está atracada, son utilizados de manera autónoma por el ordenador central para orientar la estación y corregir su órbita.

◆ Progress-M: Nave de carga automatizada. Provee a la tripulación de alimentos y agua durante su estancia, de esta manera se puede prolongar la duración de las tripulaciones en la Mir. También se usa para transportar materiales de recambio y por supuesto combustible. Es utilizada por el ordenador central para el guiado de toda la estación al igual que los motores de la Soyut-TM.

¿QUÉ UTILIDAD TIENE UNA ESTACIÓN ESPACIAL?

Quizás en este punto el lector se pregunte si merece la pena utilizar tantos recursos humanos para la construcción de estas ciudades espaciales. La respuesta a esta pregunta está en la multitud de experimentos que los astronautas realizan día a día en complejos como la Mir.

Gracias a la ausencia de gravedad se obtienen nuevos materiales o sustancias muy puras con extraordinarias aplicaciones prácticas en el campo de los ordenadores, las telecomunicaciones, las fuentes de energía (como la fusión nuclear) y beneficios en el propio hogar, como mejores materiales para que nada se pegue en una sartén. Se han elaborado nuevas aleaciones de aluminio, cristales superconductores, mezclas de vidrios y metales. Así pues, podemos decir que una estación espacial es una auténtica fábrica en órbita.

También se han estudiado los efectos que produce la ingravidez sobre el cuerpo humano durante largos periodos de tiempo. Estos últimos análisis serán fundamentales, para en un futuro, preparar los vuelos tripulados a otros planetas.

Por otra parte, la ausencia de atmósfera permite realizar unas observaciones asombrosas y únicas, por su nitidez, de los planetas y las estrellas que nos rodean. Finalmente, una estación espacial es una plataforma inmejorable para el estudio y observación de la Tierra.

Hecho este breve paréntesis, ahora voy a realizar un repaso histórico de lo que ha sucedido en la Mir, como veremos no es oro todo lo que reluce.

LA MIR DÍA A DÍA

Para un cosmonauta, ser destinado a la Mir era todo un triunfo profesional. El sueldo aumentaba considerablemente y el prestigio también. Fue la época dorada de la Mir que duró aproximadamente unos 5 años desde su lanzamiento, precisamente el tiempo que sus diseñadores calcularon que duraría la vida operativa de la estación.

Pero, a partir del año 1991, la crisis económica que sufría la entonces URSS, estranguló también a su sector aeroespacial. Por ejemplo el proyecto Energya-Buran fue cancelado por falta de fondos y Rusia se quedó sin su transbordador. Sin ir más lejos, un cohete Energya tendría que haber puesto en órbita el módulo central de la Mir-2, proyecto que también fue cancelado. Se tomó la drástica decisión de continuar con la Mir. La nueva consigna era la de «aprovechar hasta el último tornillo» y sus consecuencias no se hicieron esperar: las naves de carga Progress, que abastecen la estación, eran enviadas cada vez más vacías: menor cantidad de alimentos y de equipos de repuesto; elementos vitales de la estación, como el ordenador central, no se sustituían cuando empezaban a mostrar sus primeros síntomas de fatiga; etc.

La Mir acababa de entrar en su período de vejez. No obstante, sus tripulantes siguieron batiendo, una tras otra, las marcas de permanencia de seres humanos en el espacio. Valeri Poliakov permaneció durante 439 días en órbita, desde entonces es llamado cariñosamente «El Abuelo» por sus compañeros. Nadie ha conseguido superar su marca, entre otras razones porque cada vez la Mir

es más insegura.

A bordo de la Mir, los cosmonautas pasaron también de ser ciudadanos soviéticos a rusos. Pero la situación económica no mejoró y las medidas de la agencia espacial rusa no se hicieron esperar. La Mir se «alquiló» a otros países occidentales: Francia, Austria o Alemania que al no disponer de sus propios vehículos espaciales aprovecharon esta oportunidad para enviar a sus astronautas. Por una decisión, probablemente política, la ESA escogió al alemán Thomas Rieter en vez de al español Pedro Duque para ir a la Mir, pues como sabemos, Alemania participa económicamente más en la agencia que nuestro país. También se rodaron anuncios publicitarios a bordo de la estación: una marca de leche israelí, un cava catalán y hasta unos famosos caramelos españoles. Sin embargo todo esto no logró tapar el gran agujero financiero que padecía la agencia espacial rusa.

El 25 de junio de 1997, en una maniobra rutinaria de aproximación del carguero Progress M-34, un fallo a la hora de atracar lo puso fuera de control y chocó contra el módulo Spectr provocándole una grieta. Afortunadamente la reacción fue inmediata y la tripulación selló el módulo aislándolo del resto de la estación. De lo contrario, se hubiera despresurizado toda la Mir con la consiguiente pérdida de la atmósfera interior respirable.

Este fue el primer y hasta la fecha único choque entre dos vehículos espaciales, afortunadamente todo quedó en un susto. Pero los problemas ya no abandonarían a la Mir, se registró un incendio, se averió el sistema de generación de oxígeno y el ordenador central dejó de funcionar en múltiples ocasiones, dejando a la deriva y sin apenas electricidad a la estación. Las condiciones de vida eran extremas y los astronautas trabajaban hasta la extenuación para reparar las continuas averías.

Esta multitud de achaques, llenaron las páginas de los periódicos de todo el mundo y por eso, la Mir es la estación espacial más popular de cuantas han visitado el espacio. Sin embargo, las averías no han sido impedimento para poder realizar 9 misiones conjuntas Shuttle-Mir.

Misión STS-71, la primera de la serie Shuttle-Mir. Para que el Atlantis pudiera atracar, se tuvo que reconfigurar la estación cambiando al módulo Kristall de lugar.

ÚLTIMA HORA

Ahora mismo hay dos cosmonautas en la Mir, pertenecen a la tripulación número 26 desde su lanzamiento (sin contar con las 9 misiones Shuttle-Mir). Es la penúltima tripulación que vivirá en la Mir, la última, partirá en febrero de 1999 y volverá a la Tierra en junio del mismo año. Para entonces la Mir habrá reducido su órbita de forma notable y será posible iniciar su reentrada progresiva y controlada. No muy lejos de ella, la ISS (Internatinal Space Station) estará a punto para acoger a sus primeros tripulantes de larga duración.

En estos días se está desencadenando un interesante movimiento para evitar la destrucción de la Mir. Está encabezado por su compañía gestora: Energiya. Al parecer busca fondos privados para prolongar la vida de la Mir otros 2 o quizás 5 años más. Sin embargo sería necesario modernizar o cambiar algunos de los módulos de la estación. Por otra parte, el Consejo Espacial de la Academia Rusa de las Ciencias, también es partidario de alargar la vida de la Mir. Según él, el futuro espacio que tendrá Rusia en el interior de la ISS para la realización de experimentos no es comparable al que ahora disponen en la Mir.

A pesar de estas iniciativas, dudo mucho que Rusia, en el estado de crisis económica en el que se encuentra, pueda permitirse el lujo de mantener a la Mir en órbita más tiempo del previsto.

CONCLUSIONES

Es aún pronto para sacar conclusiones de lo que han sido los más de 12 años de existencia de la Mir, no obstante, sí puedo mencionar lo que esta estación ha logrado en su larga vida: La Mir ha sido visitada por más de 100 astronautas de manera ininterrumpida (excepto de julio del 1986 a febrero del 1987 y de abril a septiembre del 1989); se han realizado numerosos experimentos y maniobras EVA adquiriendo así la experiencia necesaria para la construcción del nuevo coloso que será la ISS. Por todo esto, nos tenemos que quitar de la cabeza la idea de que la Mir es una «chatarra» en órbita; es cierto que ha sufrido numerosas averías, algunas de las cuales muy graves, pero también es cierto que en la Mir se han logrado realizar investigaciones científicas imposibles de llevar a cabo en la Tierra. Además, la Mir ha sido capaz de albergar en su interior a un ser humano durante 439 días en el medio más inhóspito y hostil de cuantos la humanidad conoce: el espacio.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Boletín de noticias del espacio. Manuel Montes: http://www.amazings.com/notesp/

[2] Astronautas, exploradores del espacio. Javier Gregori.

[3] NASA sites:
http://www.ksc.nasa.gov/history/history.html
http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/history.html
http://www.hq.nasa.gov/osf/mir/mirguide.html
http://shuttle-mir.nasa.gov/ops/mir/mirdesc.html

[4] Other sites:
http://solar.rtd.utk.edu/~mwade
http://www.maximov.com/Mir/index.html

ENCUENTRO DE RAMAS DEL IEEE EN ESTAMBUL

José Antonio López Salcedo[1], Miguel Ángel Sastre Serra[2]

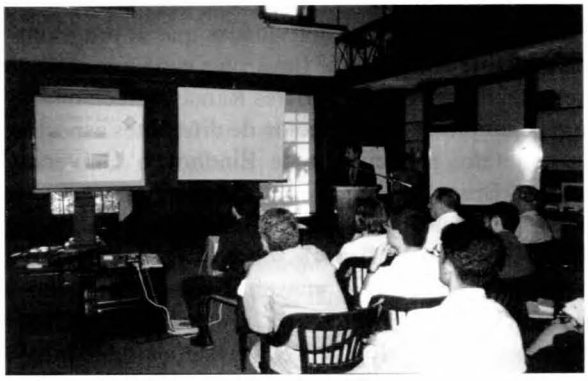
Estudiantes de la ETSETB y miembros de la Rama de Estudiantes de Barcelona
[1] j.lopez@ieee.org, [2] migue25@casal.upc.es

En los primeros días del mes de agosto, se celebraron en la Bogaziçi University de Estambul el **Student Branch Congress (SBC)** y el **STUDENT'98**, congresos organizados por el IEEE y dirigidos a las numerosas ramas de estudiantes que tiene repartidas por toda la Región 8 (zona que comprende toda Europa, África, y Oriente Medio).

En el seno de dichos congresos se realizaron diversas presentaciones a cargo de algunas de las ramas más sobresalientes de la Región 8, así como numerosas conferencias y tutoriales a cargo, tanto de profesores de distintas universidades europeas, como de profesionales de la industria. Por unos días, Estambul se convirtió en foro de discusión de diferentes temas relacionados con la Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica, donde estudiantes de gran parte del mundo fueron los protagonistas.

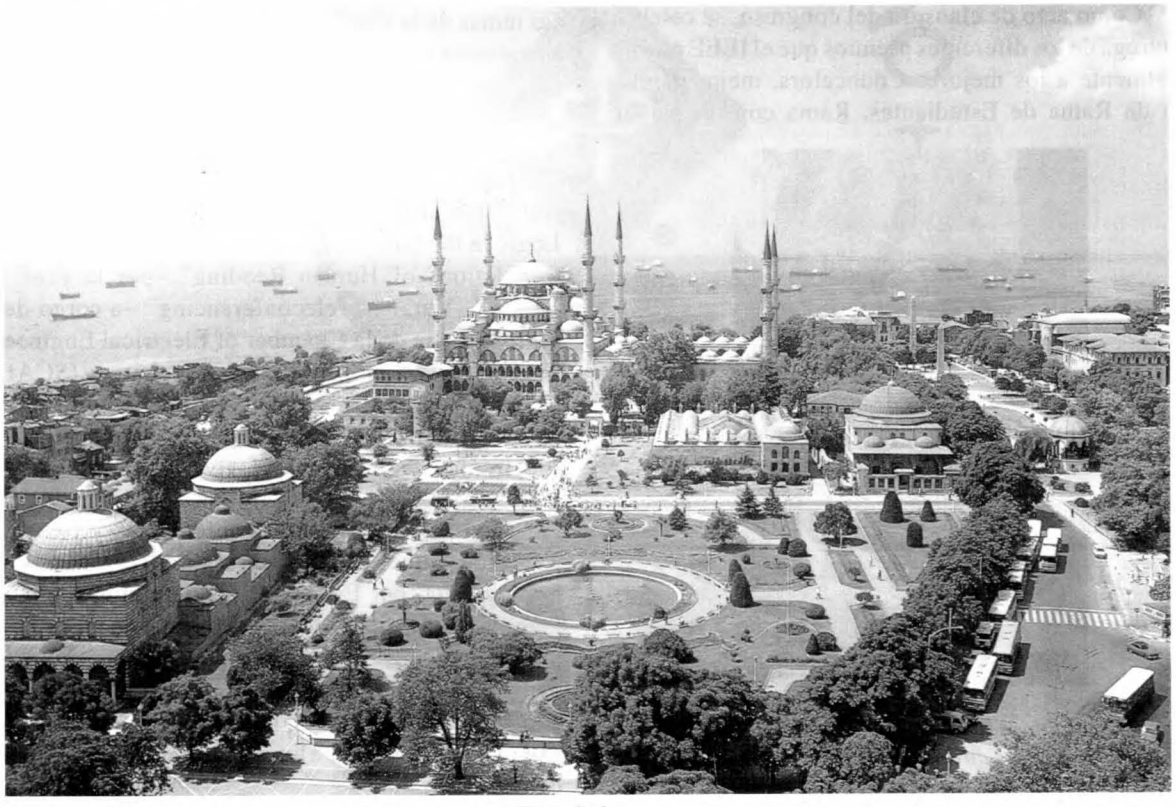
STUDENT BRANCH CONGRESS.

El **SBC** reunió a los representantes de todas las ramas de estudiantes del IEEE pertenecientes a su región 8, con objeto de ponerlos al corriente de las diversas actividades e iniciativas que está promoviendo el IEEE dirigidas directamente a los estudiantes, como por ejemplo: programas de formación, becas, premios de investigación, publicaciones ...



Momentos de la presentación a cargo de los representantes de la Rama de Estudiantes de la ETSETB.

Mención especial merece la presentación del programa GOLD destinado a facilitar el contacto con el



Estambul

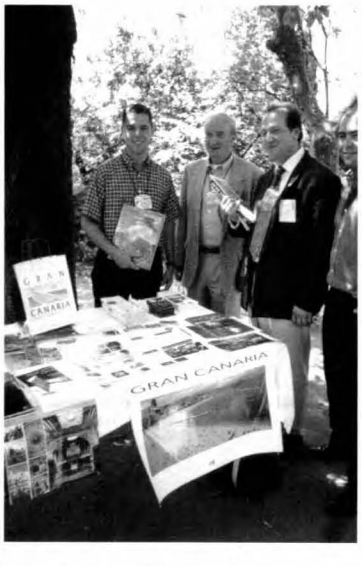
IEEE de los estudiantes en el proceso de inserción laboral una vez finalizado el periodo universitario, de este modo se pretende que estos jóvenes ingenieros no dejen de disfrutar de los beneficios que aporta el IEEE aunque hayan dejado de pertenecer a una Rama de Estudiantes.

El congreso sirvió, al mismo tiempo, para facilitar los contactos entre las distintas ramas facilitando el desarrollo de actividades conjuntas.

Entre las diversas actividades que se programaron para este congreso, se llevaron a cabo una serie de presentaciones por parte de tres Ramas, seleccionadas como ejemplo de organización de diferentes aspectos. En concreto, participaron la Eindhoven University Student Branch como ejemplo de organización de viajes de larga distancia, la Middle East Technical University Student Branch sobre la organización de eventos a gran escala, y nuestra Rama de Estudiantes de la ETSETB-UPC con la presentación titulada "Membership Development & Newsletter Publishing", en la que tuvo un papel muy importante la organización, edición y publicación de Buran, la única publicación de sus características de toda la región 8 y una de las pocas publicaciones vinculadas al IEEE en lengua no anglosajona.

-Se realizaron también varios *"Leadership Training Programs"*, charlas-conferencia en los que se analizaron los principales problemas a los que se enfrenta el IEEE para darse a conocer entre los estudiantes proponiéndose algunas soluciones.

Como acto de clausura del congreso, se celebró la entrega de los diferentes premios que el IEEE otorga anualmente a los mejores Councelors, mejor página web de Rama de Estudiantes, Rama con un mayor



Miembros de la Rama de Las Palmas de Gran Canaria con los directivos del IEEE durante la Multicultural Exposition.

Los representantes de la ramas europeas en el campus de la Bogaziçi University

crecimiento de miembros asociados, y premios a los ganadores del Student Paper Contest y a continuación , se celebraron dos tutoriales técnicos centrados en "Time Frequency Signal Representation" -a cargo del Prof. Marten J. Bastiaans- y "Testing of Advanced Electronic Components" –por el Prof. Joachim Mucha-.

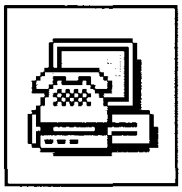
STUDENT'98

En los días 13 al 16 de agosto y tambien en la Bogaziçi University de Estambul se celebró un congreso dirigido a estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones, Electrónica e Informática.

Esta iniciativa del IEEE, que cumplía su segunda edición, pretende convertirse en un foro de debate entre estudiantes de todo el mundo sobre los principales temas de la ingeniería y al mismo tiempo servir de plataforma para la presentación de temas científicos a cargo de eminentes expertos académicos.

Se llevaron a cabo tutoriales diversos como "Introduction to Fuzzy Logic Systems & Fuzzy Control" –por el Prof. Yorgo Istefanopulos-, "Threshold Logic in the 90's" –por Ugur Çilingiroglu-, "Machine Simulations of Human Reading" –por la Prof. Dr. Fatos Y. Vural-, "Teleconferencing" –a cargo de un representante de la Chamber of Electrical Engineers-, "Supervisory Control & Data Acquisition (SCADA) Systems" –por el Dr. Aysin Yeltekin-, y "Multimedia" –a cargo del Departamento de Telecomunicación y Electrónica de la Bogaziçi University-.

Pero no todo fueron conferencias y tutoriales. También hubo tiempo para realizar una visita maratoniana por Estambul, donde pudimos contemplar los monumentos de lo que fue una de las principales capitales mediterráneas y navegar por el Bósforo disfrutando de la exótica cocina Turca y de la hospitalidad de los miembros de la Rama de estudiantes de la Bogaçizi University de los que guardamos un imborrable recuerdo.



SDH / SONET, GRANS DESCONEGUDES

F.Xavier Sendarrubias Martínez

Projectista del Grup de Comunicacions Òptiques al Depertament de Teoria del Senyal i Comunicacions (ETSETB, UPC)
Fsen1579@alu-etsetb.upc.es

INTRODUCCIO

Quan em disposo a escriure aquest article tinc al davant un retall de la premsa d'aquest darrer cap de setmana. Es demana un responsable de manteniment a primer nivell i de diagnosi d'avaries per un determinat sistema de transmissió, tot amb l'objectiu d'aconseguir una optimització de xarxa i una alta qualitat de servei. Addicionals responsabilitats també són requerides, aiximateix, no cal oblidar un bon nivell d'anglès i un mínim de 5 anys d'experiència. Per últim, un coneixement específic és desitjat: els sistemes Nortel TN-16 SDH. En definitiva, i sense perdre més el temps, es demandaven ENGINYERS DE TRANSMISSIÓ SDH.

Llegit això, es deriva una pregunta clau: Què significa l'acrònim SDH ? I més importants encara, entre d'altres, desde quan es parla de SDH? quin abast té SDH ? I en què pivota SDH ?

SDH significa Synchronous Digital Hierarchy, que també es pot trobar en la seva traducció literal com JDS (Jerarquia Digital Síncrona). És un estàndard per xarxes síncrones de telecomunicacions òptiques de gran capacitat (o, equivalentment, d'alta velocitat).

Hi haurà qui pugui pensar en SONET/SDH com unes noves tecnologies aparegudes de la nit al dia a l'escenari de les telecomunicacions. No és pas així, la dècada dels '80 fou d'àrdua recerca per aconseguir les característiques que avui se'ls apunten.

SDH sorgí arran del desenvolupament de SONET (Synchronous Optical NETwork), començant els seus treballs al juny de 1986, per part del Grup d'Estudi XVIII del, llavors, CCITT.

Diferents temes que espero tractar ara i/o en següents ocasions són:

- Perspectiva històrica.
- L'estructura de trama.
- L'antecedent PDH.
- SDH i SONET en més detall.
- Els conceptes de xarxa síncrona i multiplexació directa síncrona.
- Les interfícies físiques de línea.
- La interfície de nodes de xarxa (NNI, Network Node Interface).
- La problemàtica de la sincronització.
- Les capçaleres i les funcions dels seus bytes.
- Les capacitats OA&M ("Operations, administration and maintenance").
- Especificacions de les Recomanacions.
- Productes del mercat.
- Implantacions reals.
- Etc.

CRONOLOGIA

Es desenvolupa a continuació una perspectiva històrica del peculiar naixement (amb disputes incloses) d'ambdues tecnologies.

1984. A instàncies de MCI, el ICCF (Interexchange Carrier Compatibility Forum) demanà a T1 que treballés en estàndards que permetéssin la interconnexió de terminals de transmissió òptica sobre fibra, amb les característiques de multipropietari i multifabricant (conegut com capacitat "mid fiber meet"). Del munt de propostes de ICCF, dues van encarregar-se al comitè T1. A l'agost de 1984, la proposta de paràmetres d'interfície òptica s'encomanà al subcomitè T1X1 i, 3 anys després, donà lloc a un draft d'estàndard sobre especificacions d'intefície òptica monomode: l'ANSI T1.106-1988 ("American National Standard for Telecommunications-Digital Hierarchy Optical Interface Specifications, Single Mode"). De la mateixa manera, la proposta d'operacions a llarg termini fou sotmesa al subcomitè T1M1, també donant lloc a un draft d'estàndard sobre manteniment de sistemes de fibra òptica: el T1M1.2/87-37R2 ("Functional Requirements for Fiber Optic Terminating Equipment").

Febrer, 1985. Bellcore (Bell Communications Research) proposà al subcomitè T1X1 del Comitè T1, acreditat de ANSI, per estandarditzar interfícies òptiques portadora a portadora. S'aconseguiria així, per a sistemes de fibra òptica, interconnexió, tant multipropietari com multifabricant, de terminals de transmissió sobre fibra òptica, i també d'elements de xarxa de fibra òptica de diferents funcionalitats (multiplexors de terminació de línea òptica, sistemes d'interconnexió digital, etc.). En la mateixa proposta se suggeria: a) una família jeràrquica de senyals digitals, on les velocitats fossin múltiples enters d'un senyal de mòdul bàsic, i b) una tècnica de multiplexació per intercalació de bits, que permetés

implementacions econòmiques. Aquesta proposta també significà el naixement del terme SONET. I, per últim, donà lloc a un draft d'estàndard: l'ANSI T1.105-1988 ("American National Standard for Telecommunications-Digital Hierarchy Optical Rates and Formats Specifications").

Agost, 1985. T1X1 aprovà la proposta de projecte basada en el principi de SONET. Més de 30 ens contribuiren a l'esforç que requerien formats i velocitats. El principal motiu de confrontació era la velocitat del mòdul bàsic: mentre Bellcore proposava 50,688 Mbit/s i AT&T apostava per 146,432 Mbit/s, s'acabà acceptant una velocitat de 49,920 Mbit/s. Alhora, el concepte de tributària virtual (Virtual Tributary, VT) s'introduí, acceptant-se com el fonament de transport de serveis DS1.

Juny, 1986. El CCITT expressà, per primer cop, interès en SONET (que, iniciat al subcomitè T1X1, estava pensat per xarxes de telecomunicacions d'EUA), amb la qual cosa sorgiren majors dificultats de procediment (contribucions, multitud de visions, consens, diferències en la segmentació del procés i en les necessitats dipositades, ...). Per exemplificar-ho: el CCITT treballava per reunions d'Assemblees Plenàries cada 4 anys i trobades intermitges espaiades entre 6 i 9 mesos; els subcomitès tècnics de T1 es trobaven com a mínim 4 cops per any. D'altra banda, T1X1 veia en l'estandardització de SONET el mitjà per aturar la proliferació d'imcompatibles terminals de transmissió sobre fibra òptica, percepció que no era compartida per moltes altres nacions que, o bé tenien les xarxes plenament regulades, o bé es caracteritzaven per un ambient no competitiu. Ja al **Juliol, 1986,** el Grup d'Estudi XVIII del CCITT inicià l'estudi d'una nova jerarquia de senyals síncrons i del seu associat NNI (aquest, a diferència de l'UNI de XDSI-BA, pot definir-se com una interfície de xarxa de medi no específic). Les discrepàncies no faltaven perquè EUA volia un estàndard internacional sense haver de retocar SONET o retardar seriosament un estàndard nacional americà sobre el que les xarxes d'OTC (Operating Telephone Company) feien plans.

Febrer, 1987. Trobada d'experts en XDSI del Grup d'Estudi XVIII del CCITT a Brasilia. Es caracteritzà perquè d'una banda, EUA i Canadà proposaren, ja de manera formal, una estructura de trama de NNI basada sobre la interfície SONET (on el concepte bàsic de SONET residia en definir una nova interfície síncrona amb la velocitat base de 50 Mbit/s i amb intercalació de bits per aconseguir una interfície del nivell de 150 Mbit/s). De l'altra, NTT proposà (amb el suport de BT i Suècia) una universal NNI de velocitat 150 Mbit/s amb estructura de bytes. Alhora, es presentà el nou concepte de multiplexació síncrona.

Tot i que de manera informal, el bàndol europeu instà a l'americà a canviar la seva intercalació de bits per una multiplexació per intercalació de bytes, acomodant-se així a l'estructura de trama de 150 Mbit/s.

Abril, 1987. Inici de la participació dels representants de les delegacions japonesa i anglesa. Les dificultats de procediment semblen resoldre's parcialment, perquè dues grans posicions donen suport a T1X1 per l'estàndard internacional SONET, i alhora fan de mitjancers entre T1X1 i CEPT. Al mateix temps, i amb Bellcore al capdavant, s'inicien un gran nombre de fòrums de debat a la recerca d'una solució acceptable per totes les parts que, tot i que de manera informal, gaudien del suport corporatiu de diverses companyies americanes que incloien fabricants, proveidors de xarxes, etc.

Maig, 1987. Havien passat 3 mesos i 3 trobades desde la trobada de Brasilia al subcomitè T1X1, i la posició fou d'acceptació de la intercalació de bytes. El resultat fou recollit en un nou draft d'estàndard que es va fer arribar al CCITT.

Juliol, 1987. Trobada a Hamburg del Grup d'Estudi XVIII del CCITT. La confrontació va tornar a ser patent. Mentre EUA i Canadà proposaven un nivell de 150 Mbit/s amb multiplexació per intercalació de bytes, basat en una estructura de 13 files i 180 columnes (l'estructura de trama SONET STS-3), NTT i BT proposaren una estructura de trama basada en 9 files i l'establiment d'una universal NNI. Resultat d'això, es produiren 2 paquets (ambdós estructurats en bytes), un consistint en una estructura de 9 files i 270 columnes (afavorit pels països de CEPT/ETSI i la NTT), i l'altre fou, l'anteriorment esmentat, de 13 files i 180 columnes. Un mínim comú tenien entre elles: el mòdul bàsic americà de 50 Mbit/s podia obtenir-se d'una subdivisió de qualsevol dels dos paquets (o bé una estructura de 13 files i 60 columnes, o bé de 9 files i 90 columnes).

"Quatre números o raons" van portar a EUA a haver d'acceptar la proposta de 9 files: a) l'estructura era adequada per acomodar la senyal primària de 2,048 Mbit/s (que de fet, són 32 bytes de 125 ms cadascun, i serien suficients 4 columnes de 9 bytes) i b) el nivell primari americà de 1,544 Mbit/s requeria 24 bytes de 125 ms, els quals cabien perfectament en 3 columnes de 9 bytes. Curiosament, no totes les administracions del CEPT li donaven total suport, hi havia qui creia que l'estructura de 9 files afavoria més al senyal DS3 americà que no pas al CEPT de 34,368 Mbit/s.

Febrer, 1988. A principis de mes es trobà el CCITT i a finals ho va fer el T1X1. Estava més aprop el consens internacional; de fet, l'inentat de Tokyo, va estar a punt d'acabar gaudint unanimitat.

En la posterior Trobada d'experts en XDSI a Seul, s'introduiren, a l'original document dradft americà, un conjunt de detalls, entre els que destaquen que les

tributàries de 50 Mbit/s havien de ser multiplexades per bytes per obtenir senyals SONET de més alt nivell i que en el senyal NNI de 150 Mbit/s s'havien d'incloure estructures tributàries opcionals per acomodar millor el senyal europeu de 34,368 Mbit/s. Els delegats americans van veure que els equips no haurien de ser modificats i acceptaren, també hi accedí T1X1 a la Trobada de Phoenix. Així doncs, es resolgué la problemàtica, produint un conjunt de Recomanacions (de fet, tenien la consideració de draft) entorn NNI: G.707 (sobre velocitats binàries de SDH), G.708 (sobre NNI per SDH) i G.709 (sobre l'estructura de multiplexació síncrona). Tot estava pràcticament apunt per superar la votació. Durant els mesos de maig i juny tingueren lloc les darreres correccions.

Novembre, 1988. Trobada de Melbourne. El CCITT publicà, després de l'aprovació en Assemblea Plenària, les primeres Recomanacions sobre NNI (les ja esmentades G.707, G.708 i G.709). El Grup d'Estudi XVIII del CCITT i els seus cossos d'estandardització regionals (T1 a EUA i CEPT/ETSI a Europa) permeteren ajuntar l'àmplia varietat de velocitats de transmissió regionals existents i formar SDH.

1988-1992. Declarat com el Període d'Estudi del CCITT, caracteritzat pel desenvolupament de noves Recomanacions sobre equips basats en SDH, gestió de SDH i aspectes de xarxa SDH; la priorització d'especificacions de multiplexors síncrons, sistemes de línea de fibra òptica i de gestió de SDH; l'esperança de completar el procés a finals de 1990 i l'inici d'estudis per part del CCIR (International Radio Consultative Comitee) sobre sistemes radio SDH.

Juny, 1989. Van començar els treballs (que no acabarien fins la finalització de l'actual Període d'Estudi) de preparació de 2 noves Recomanacions sobre aspectes de xarxa: G.sna1 (sobre arquitectures de xarxes de transmissió basades en SDH) i G.sna2 (sobre prestacions i capacitats de gestió de xarxes de transmissió basades en SDH, -el qualificatiu 'sna' respon a Sdh Network Aspects-. Aquests treballs sorgiren d'un error reconegut pel Grup d'Estudi XVIII del CCITT: les Recomanacions d'equips i de NNI de SDH d'aquest grup d'estudi havien estat preparades abans que hi hagués un comú enteniment en els principis de l'arquitectura i les capacitats de gestió de les xarxes de transmissió basades en SDH.

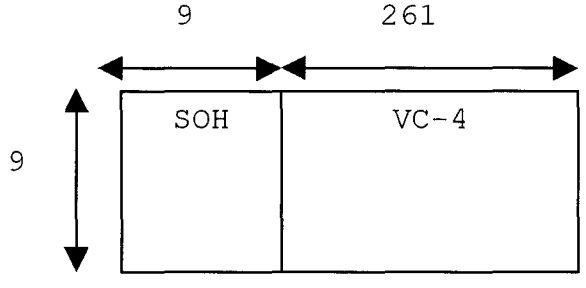
Durant 1989 ja apareixen al mercat productes compatibles amb SONET. D'aquest moment en endavant tot són avenços cap al concepte "Broadband".

ESTRUCTURA DE TRAMA

L'estructura de trama escollida, ho és pel fet de ser aplicable a tots els processos que tenen lloc en una xarxa síncrona, bàsicament: multiplexació digital síncrona, interconnexió i commutació digital de tributàries. S'ha adoptat:

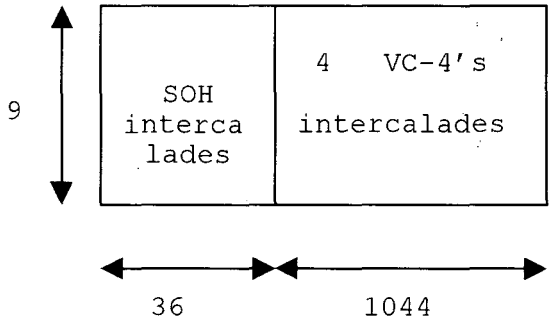
- Estructuració en bytes, per proporcionar accés directe a les tributàries.
- Generosa provisió de bytes pels propòsits de gestió de xarxa i d'equips.
- Mapeig periòdic de tributàries en trames.
- La descripció més convenient com un rectangle (mapa bidimensional).
- La base de solucions en estructures de 9 files, perquè una tributària de 1,5 Mb/s pot mapejar-se amb 27 bytes (25 d'informació i 2 de capçalera) i una tributària de 2 Mbit/s pot fer-ho amb 36 bytes (32 d'informació i 4 de capçalera).
- El Mòdul de Transport Síncron (STM-N, Synchronous Transport Modules Level –N, N = 1, 4, 16, etc.) és el bloc bàsic pel transport digital síncron.
- El senyal STS-1 (Synchronous Transport Signal Level-1) és el de nivell més baix i és el senyal bàsic de SONET.

La STM-1 (senyal SDH de nivell bàsic) consta bàsicament de dos elements: capçalera de secció (SOH) i contenidor virtual (VC-4). El mapa bidimensional en 9 files i 270 columnes de trama és el que segueix:

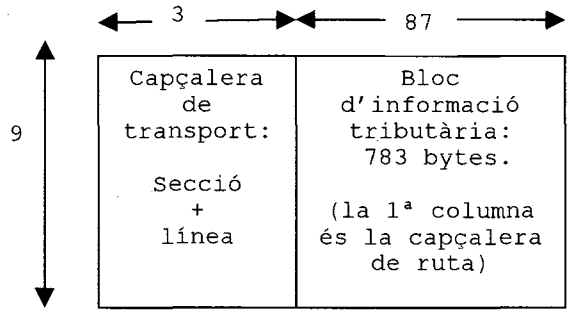


Amb les següents dades tècniques: 2430 bytes/trama i taxa de bits de 155,52 Mbit/s.

A la STM-4, resultat de l'ensamblatge mitjançant intercalació de columnes de bytes de 4 senyals STM-1 paral·lels sincronitzats respecte la trama, tot es quadriplica (òbviament, excepte nombre de files: 9 i taxa de trames: 8000). Així: 1080 columnes, 9720 bytes/trama, taxa de senya de 622,08 Mbit/s. El mapa bidimensional és:



L'envolupant SONET STS-1 (nivell bàsic) consisteix en:



Les seves dades tècniques es resumeixen en:

· 90 columnes x 9 files de bytes.
· Transporta 810 bytes ó 6480 bits.
· Transmet a 8000 trames/s (és a dir, la duració de la trama són 125 ms).
· Velocitat de transferència: 51,840 Mbit/s (6480 x 8000).

· Capçalera de transport (o part de transport de la trama) a les 3 primeres columnes (27 bytes). D'aquestes, les 3 primeres files (9 bytes) són per la capçalera de secció (o també capçalera de regió) i les alres 6 files (18 bytes) per la capçalera de línea (o també secció multiplexora).

· Part de SPE d'usuari de la trama: 87 columnes que comprenen la tributària o STS-1 SPE (tot i que la 1ª columna de la capacitat de l'envolupant es reserva per la capçalera de ruta).

· Tributària d'usuari que consisteix en 86 columnes (o 774 bytes), opera a una velocitat binària de 155,52 Mbit/s (51,840 x 3) i suporta desde VTs (1,544 Mbit/s) a DS3 (44,736 Mbit/s).

Una trama interessant de la jerarquia SONET és la STS-3, que es caracteritza per triplicar tant la capçalera de transport (9 columnes), com el bloc d'informació tributària (261 columnes). De fet, l'envolupant SDH comença amb la STS-3, que consisteix en 3 envolupants STS-1, opera a una velocitat binària de 155,52 Mbit/s (51,840 x 3) i té la suficient capacitat per portar un canal H4 de la XDSI-BA.

L'ANTECEDENT PDH (PLESYOCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY)

La jerarquia digital plesiòcrona és la immediata antecesora de la SDH.

Primerament, cal interpretar el terme 'plesiòcron'. Literalment del grec, significa "quasi síncron". A la pràctica, aquesta interpretació ve del fet que en cada etapa de multiplexació, la velocitat de les diferents tributàries, tot i que es controla dins d'uns límits especificats, no es sincronitza amb l'equip de multiplexació.

El seu punt més feble és que per extreure un senyal constituent d'una estructura de major ordre, en un node intermig i insertar una altra tributària, és necessari que es recorri tot el procés de demultiplexió fins al nivell apropiat i es remultiplexi, després, a la velocitat de línea inicial.

Entre les Recomanacions que l'especifiquen tenim:

· G.702, "Velocitats binàries de jerarquia digital". Especifica, pels equips de multiplexació, la sèrie d'estats dins la jerarquia en què han de trobar-se els senyals de multiplexació per aconseguir la velocitat binària final a la que el senyal multiplexat és enviat a un sistema de línea.
· G.955, "Sistemes de línea digital basats en la jerarquia de 1,544 Kb/s sobre cables de fibra òptica".
· G.956, "Sistemes de línea digital basats en la jerarquia de 2,048 Kb/s sobre cables de fibra òptica".

La intenció d'aquestes dues darreres Recomanacions és aconseguir compatibilitat longitudinal en seccions elementals de cable de diferents sistemes de línea òptica (p.ex. es possibilita així una instal·lació paral·lela en el mateix cable de sistemes dissenyats per diferents fabricants).

En contraposició, un esquema de transport totalment síncron té els següents avantatges:

· Capacitat d'accés directe a tributàries de més baix nivell i canals d'una senyal multiplex.

· Reducció de costos de multiplexació i transmissió per la més alta eficiència que permet la xarxa síncrona i la reducció del nombre o del volum dels equips.

· Avançades operacions d'administració i manteniment perquè el canal OAM té una identificació directa al multiplex. Conseqüència d'això, aconsegueix compatibilitat transversal en seccions elementals de cable (és a dir, poden mesclar-se equips de diferents fabricants), mentre que PDH es queda en la compatibilitat longitudinal (o sigui, que els equips de diferents fabricants només poden constituir instal·lacions paral·leles); -de fet, cal assegurar que els nous sistemes proporcionen compatibilitat longitudinal amb els sistemes de línea plesiòcrons existents, recomanats a G.955 i G.956.

· La més alta velocitat de la xarxa síncrona permet un transport eficient i flexible de serveis de banda ampla (ofereix barreja de tributàries a diferents velocitats i una simple intercalació de bytes per tenir un senyal de més alta velocitat de transmissió).

SDH I SONET EN MÉS DETALL

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) és un estàndard internacional per xarxes síncrones de telecomunicacions òptiques de gran capacitat (o alta velocitat). Arran del desenvolupament de SONET, té l'inici dels seus treballs al juny de 1986, per part del Grup d'Estudi XVIII del, llavors, CCITT. Cal considerar que, en els inicis, van ser d'utilitat els progressos en la tècnica LSI (Large Scale Integration), en fibra òptica, en software i l'estandarditació de les característiques bàsiques de la XDSI-BE.

La taula següent vol ser un recull les Recomanacions exclusives sobre SDH:

Recom.	Títol	Contingut
G.707	Velocitats binàries de la SDH	Especifica un conjunt de velocitats binàries jeràrquiques que constitueixen la SDH.
G.708	Interfície de node de xarxa (NNI) per SDH	Descriu les ventatges oferides per la SDH i pel mètode de multiplexació digital síncrona.
G.709	Estructura de multiplexació síncrona	Recomana l'estructura de trama de les senyals digitals multiplexades en la interfície de node de xarxa (NNI) d'una xarxa digital síncrona, inclosa la XDSL
G.781	Estructura de Recomanacions sobre l'equip de SDH	Exposa l'estructura de les Recomanacions sobre l'equip de multiplexació per la SDH (i enumeia sobre totes les que es fonamenta).
G.782	Tipus i característiques generals de multiplexació de SDH	Descriu les funcions de l'equip de multiplexació SDH, les prestacions generals necessàries, i dóna exemples diversos.
G.783	Característiques dels blocs funcionals de l'equip de multiplexació per SDH	Descriu les interfícies i funcions a sustentar pels equips de multiplexació a la SDH (que tenen les característiques generals descrites a la G.782).
G.784	Gestió de la SDH	Descriu un model d'organització i aspectes de gestió dels equips SDH.
G.957	Interfícies òptiques per equips i sistemes basats en SDH	Especifica els paràmetres de la interfície òptica pels equips i sistemes que admeten SDH.
G.958	Sistemes de línea digital basats en SDH per ús en cables de fibra òptica	Indica requeriments pels sistemes de línea digitals síncrons.

Altres dues Recomanacions, G.sna1 ("Arquitectures de xarxes de transmissió basades en SDH") i G.sna2 ("Prestacions i capacitats de gestió de xarxes de transmissió basades en SDH"), tracten d'aspectes de xarxa SDH (SNA, SDH Network Aspects). Aximateix, altres Recomanacions que són d'utilitat són: G.774, G.703 i M.300, entre d'altres.

SONET (Synchronous Optical NETwork): és la versió americana de l'estàndard SDH; per ser exactes, SDH és l'estàndard internacional, i posterior, de l'americà SONET (sorgit d'esforços de Bellcore i establert pel comitè T1X1 de l'ECSA –Exchange Carriers Standards Association-).

Se l'ha definit breument com un estàndard per la connexió entre sistemes de fibra a nivell òptic. I es caracteritza per:

· Establir el format de multiplexació estàndard usant blocs de senyals de (N x 51,84) Mbit/s.
· Establir l'estàndard de senyal òptica per interconnectar equips de diferents fabricants (amb tot, també s'usen senyals elèctriques per interconnectar elements de xarxa com multiplexors, commutadors i sistemes cross-connect).
· Extensives capacitats, dins de l'estàndard, per OAM.
· Defineix un format de multiplexació síncrona per portar senyals digitals de més baix nivell: DS1, DS1C, DS2, CEPT1, etc.
· Suporta la jerarquia de senyals digitals CEPT del CCITT (ara UIT-T).
· Estableix una arquitectura flexible capaç d'acollir aplicacions futures com XDSI-BA.

El sistema SONET és definit com una jerarquia de 3 nivells: secció, línea i ruta.

La jerarquia de transmissió òptica SONET es recull en la taula següent, juntament amb el nombre d'equips de DS3s, DS1s o DS0s continguts dins de cada nivell de portadora òptica:

Jerarquia Elèctrica	Jerarquia Òptica	Designació UIT-T	Velocitat de línea (Mbit/s)	Equivalent nº de DS3	Equivalent nº de DS1	Equivalent nº de DS0
STS-1	OC-1	-	51,840	1	28	672
STS-3	OC-3	STM-1	155,520	3	84	2.016
STS-9	OC-9	STM-3	466,560	9	252	6.048
STS-12	OC-12	STM-4	622,080	12	336	8.064
STS-18	OC-18	STM-6	933,120	18	504	12.096
STS-24	OC-24	STM-8	1244,160	24	672	16.128
STS-36	OC-36	STM-12	1866,240	36	1.008	24.192
STS-48	OC-48	STM-16	2488,320	48	1.344	32.256
STS-96	OC-96	STM-32	4876,640	96	2.688	64.512
STS-192	OC-192	STM-64	9953,280	192	5.376	129.024

A la qual cal fer les següents observacions:

· Les implementacions més populars actualment són: OC-1, OC-3, OC-12 i OC-48.
· Hi ha nivells que no s'usen a Europa, Amèrica del Nord o Japó.
· STS-1 forma la base del senyal òptic portador de nivell 1 (OC-1), en el qual es fonamenta la jerarquia de senyals òptics síncrons.
· Els senyals d'alt nivell són multiplexació de n senyals més baixos, designant STS-n i OC-n.
· Només STS-1 i STS-3 estan definits com estàndards elèctrics.
· OC-1 és el bloc bàsic de la construcció de SONET. És el més baix nivell òptic que pot usar-se en equips i interfícies de xarxa. El senyal OC-1 (de polsos òptics) és fruit de l'aleatorització i posterior conversió dels polsos elèctrics que formaven el senyal STS-1.
· Les equivalències entre columnes són:
1 OC-1 à 1 DS3; 1 DS3 à 28 DS1s; 1 DS1 à 24 DS0s.

ELS CONCEPTES DE XARXA SÍNCRONA I MULTIPLEXACIÓ DIRECTA SÍNCRONA

Xarxa síncrona: és tracta d'una xarxa en què tots els nodes obtenen els seus senyals de temporització d'un mateix rellotge, anomenat rellotge mestre de la xarxa. SDH fou ideada com una xarxa síncrona, alhora, tot permetent el funcionament asíncron.

Els requeriments bàsics pel que llavors eren "xarxes futures" foren:

· Capacitat de gestió i compatibilitat de senyals: tant "backward" (per canals B de 64 Kbit/s i xarxes en 1,5 i 2 Mbit/s) com "forward" (per canals H4 de 135 Mbit/s i capacitats ATM).
· Interoperació internacional senzilla (entre jerarquies basades en 1,5 Mbit/s i 2Mbit/s).

· Reducció dels cost del node de xarxa, per l'ús de multiplexació síncrona i interconnexió.
· Ús de facilitats a disposició per permetre l'evolució de les xarxes existents cap a les basades en les noves interfícies.
· Fàcil acomodació de possibles futurs serveis i tecnologies, com ATM.
· Potencial per proveir una velocitat de servei flexible.
· Assegurar que les Recomanacions adoptades per SDH siguin consistents amb altres iniciatives de xarxes extenses abraçades per les activitats TMN (Telecommunications Management Network).

Els avantatges més importants que aporta una xarxa digital síncrona (basada en SDH) són:

· Capacitat de banda ampla.
Tot i tenir interfícies de 1,5 Mbit/s i 2 Mbit/s, també es disposa d'interfícies d'alta velocitat (50 i 150 Mbit/s). Així, es poden satisfer: interoperació LAN/WAN, teleconferència de video commutada, distribució de senyal HDTV, comunicació entre computadors a alta velocitat, etc.

· Capacitat de manteniment i operació.
Amb una capacitat de capçalera de l'ordre de Mbit/s, es milloren les capacitats de manteniment, control, execució i administració. Gràcies a això, l'usuari final veu millors serveis de transport, com són: funcions de control d'usuari final millorades per operacions en xarxes privades; serveis "time-of-day"; millors disponibilitat i qualitat.

Interfícies estàndard.
Les interfícies universals de SDH asseguren la connexió, a nivell internacional, de xarxes digitals (recordar que s'havien aadoptat jerarquies de velocitats diferents entre Amèrica del Nord: 1,5 Mbit/s, 6,3 Mbit/s i 45 Mbit/s; Europa: 2 Mbit/s, 8 Mbit/s i 34 Mbit/s i Japó: 1,5 Mbit/s, 6,3 Mbit/s i 32 Mbit/s). Així: els nous serveis seran, més que mai, "worldwide" i les companyies operadores (o PTT, Public Telegraph and Telephone) poden tenir múltiples proveïdors.

· Aplicacions flexibles.
El concepte clau són els punters de tributària en NNI, que permeten crear xarxes digitals síncrones en els existents ambients plesiòcrons (això és un gran ajut en el desenvolupament i introducció de la tecnologia i els nous serveis) i formar una tributària de banda ampla enclavant diverses tributàries de 50 Mbit/s ó 150 Mbit/s.

El que ha de quedar absolutament clar és que la sincronització de la xarxa és essencial per tenir una operació de xarxa econòmica que utilitza funcions digitals com les d'interconnexió, multiplexació i commutació basades en TDM.

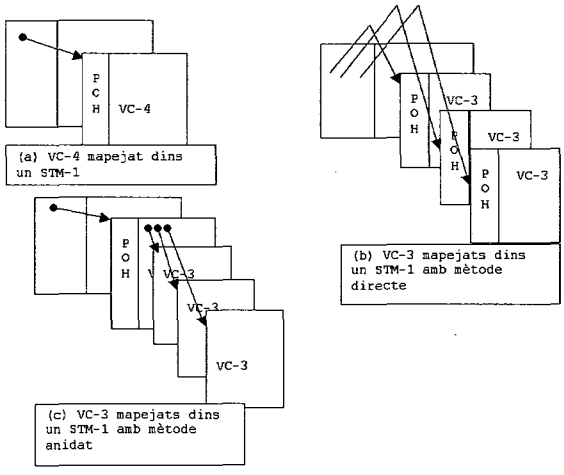
Per tractar-se d'un sistema de linea òptica síncron també ha de tenir en compte l'aplicació (enllaç interoficina o intraoficina), el medi de transmissió òptic (les limitacions en quant a marge de longituds d'ona, tipus de transmissors, etc., que presenta el medi), les característiques de disseny globals (compatibilitat transversal, disseny, implementació, unió d'enginyeries, etc.), l'efecte del CID -Consecutive Identical Digits- (cal avaluar la immunitat a digits idèntics consecutius, entesa com la capacitat d'aguantar totes les seqüències de dígits que poden trobar-se en els fluxos STM-N: cadenes de marques o espais que puguin resultar després d'aleatoritzar, ...), els regeneradors (estan especificades les funcions dels regeneradors, tan en condicions normals com d'avaria, pel que fa a processament de capçalera, aleatorització de línea, operacions i manteniment i les interfícies corresponents), el jitter d'execució (hi ha uns requeriments pel que fa a generació, transferència i tolerància de jitter per tal d'aconseguir compatibilitat transversal, doncs les característiques de jitter de regeneradors de diferents dissenys han de ser compatibles -és obvi que, el regenerador d'un fabricant no ha de produir una quantitat de jitter que no pugui ser tolerat pel regenerador següent d'un altre fabricant-), l'error, disponiblitat i fiabilitat en execució, la seguretat (en alguns països, les regulacions nacionals la fan necessària fins per proveir una facilitat ALS -Automatic Laser Shutdown- al transmissor, en cas de ruptura de cable), les operacions OAM (sota els principis generals de TMN, hi ha la necessitat de proveir funcions de gestió com: monitorització, localització d'avaries, generació d'alarmes, etc., mitjançant la vigilància de paràmetres com: nivell de potència òptica transmesa, pèrdues del senyal entrant, temperatura de làser, etc).

La *multiplexació directa síncrona* és el principi que es tradueix, gràcies als multiplexors síncrons, en facilitat d'accés a senyals tributàries individuals i reencaminament molt més flexible. Tot, gràcies al nou concepte de VC que permet: muliplexar, interconnectar i commutar diverses tributàries sense conèixer-les, ni el seu contingut, i com que el VC "flota" dins la trama, no cal alineació de trama VC al node de trànsit, mninimitzant-se aíxi el retard al node de trànsit.

Dos mètodes de multiplexació són possibles: directa i anidada. Caracteritzats per:

· Compatibilitat entre ambdós, excepte en el processament de punters.
· Més efectiu el directe en el procés de manipulació de VC-1 a Vc-3.
· L'anidat té l'avantage de poder manipular fins al VC-4 inclós (i l'operació amb VC-4s té l'avantatge que és compatible amb totes les xarxes).

Gràficament:



LES INTERFÍCIES FÍSIQUES DE LÍNEA

La Recomanació G.957 té el propòsit d'especificar interfícies òptiques SDH per tal que els fabricants tinguin llibertat en la implantació dels equips i, alhora, els operadors de xarxa tinguin assegurat que els equips construïts d'acord amb les especificacions es comunicaran correctament a nivell òptic en un ambient multifabricant.

Per cada nivell de la jerarquia SDH, la Recomanació descriu interfícies per tres categories d'aplicació, que cobreixen: interconnexions intraoficina (distàncies < 2 km.), interconnexions interoficina de curt trajecte (d < 15 km) i interconnexions interoficina de llarg trajecte (d < 40 km, o també fins a 60). Per cada categoria d'aplicació descrita, s'especifiquen els paràmetres òptics d'interfícies SDH en funció del tipus de fibra monomode (ja que aquesta és la predominant en les xarxes de telecomunicacions actuals), segons la classificació en tres Recomanacions que fa el CCITT: G.652, G.653 i G.654.

Per SDH es defineixen interfícies físiques tant òptiques com elèctriques, amb especificacions definides per cada velocitat i segons l'àmbit d'aplicació.

Pel que fa al tipus elèctric, saber que l'àmbit d'aplicació és local (o inter-oficines); és a nivell STM-1; codificat per CMI i caracteritzat per la Recomanació G.703 del UIT-T.

Aplicació	Àmbit	Nomenclatura (i)	Tipus de fibra (monomode) (ii)	λ (nm)	Distància Màx. (km)	Estimació pèrdues (dB) del sistema (iii)	Transmissors òptics (iv)
Intra-Oficina	Local	I-n	G.652	1310	2	[0,7]	LED o làsers MLM (baixa potència)
Inter-oficina	Curt Abast	S-n.1	G.652	1310	15	[0,12]	Làsers SLM o MLM (baixa pot.)
		S-n.2		1550			
	Llarg Abast	L-n.1	G.652	1310	40	[10,28] per STM-1	Làsers SLM o MLM (d'alta pot.)
		L-n.2	G.652 ó G.654	1550		[10,24] per STM-4	
		L-n.3	G.653	1550		[10,20] per STM-16	

El següent quadre ho mostra, pel tipus òptic:

Observacions:

- (i): En la Nomenclatura, 'n' indica el nivell jeràrquic STM.

- (ii): D'acord amb les característiques de fibra monomode de les Recomanacions G.652, G.653 i

Recomanació	Característica de fibra	λ nominal de fonts	Categories d'aplicació
G.652	Dispersion-unshifted	1310 nm (optimització de dispersió)	Les tres: Intraoficina, interoficina de curt i llarg trajecte.
		1550 nm	Interoficina
	Dispersion-limited	1550 nm	Interoficina de llarg trajecte
G.653	Dispersion-shifted	1550 nm	
G.654	Attenuation-optimized	1550 nm	

G.654, tenim les següents possibilitats reconegudes per la Recomanació G.957:
- (iii): L'encavalcament entre els rangs d'atenuació de les diferents categories proporciona flexibilitat als dissenyadors dels operadors de xarxa.

- (iv): S'entén per baixa potència un nivell de 50 mW (ó –13 dBm), mentre que el nivell alt correspon a 500 mW (ó –3 dBm).

LA INTERFÍCIE DE NODES DE XARXA: NNI

És la interfície normalitzada de xarxa, aportada per SDH, que permet la interconexió directa d'equips de transmissió de diferents fabricants. Una definició precisa i breu és: la NNI és la interfície entre la facilitat de transmissió (per medi de fibra òptica, radio, ...) i el node de xarxa.

La xarxa necessita els següents requeriments per una NNI:

- Universalitat ("worldwide").
- Única interfície tan per transmissió, multiplexació, interconnexió, com per commutació de senyals.
- Millora de les capacitats OA&M.
- Fàcil interoperació amb les interfícies existents.
- Aplicabilitat a tots els medis de transmissió.

Quatre són les principals característiues de la NNI (i que satisfan els requeriments descrits): estructura de trama, mètode de multiplexació síncrona, capacitats OA&M i evolució de xarxa (aplicabilitat a diferents tipus de xarxes interurbanes, locals i metropolitanes).

Les aplicacions són (1) facilitar l'evolució de les xarxes plesiòcrones actuals cap a xarxes síncrones, (2) permetre la interoperació internacional, per exemple: adopció del tipus de VC segons requeriments de xarxa

(VC-3 per nacional i VC-4 per internacional); interacció de senyals basats en 64 Kbit/s i senyals de banda ampla com l'H4; interoperació entre xarxes basades en 1,5 Mbit/s i basades en 2 Mbit/s, i (3) permetre una suau migració cap a XDSI-BA, on el CCITT –en el seu dia- definí una UNI (User Network Interface) basada sobre SDH, a la recomanació I.432.

CONCEPES DIVERSOS:

A) PUNTERS DE TRIBUTÀRIA

SONET i SDH utilitzen el nou concepte de punters per tractar les variacions de temporització (freqüència i fase) a la xarxa. Els punters es caracteritzen per haver sorgit com un conjunt de bytes que havien de contenir un valor indicador del primer byte del Contenidor Virutal dins del Contenidor d'una trama. Concretament, el valor del punter d'AU dóna l'offset en bytes entre la posició del punter i el primer byte del VC (en terminologia SONET, offset que indica la posició relativa del primer byte de la tributària dins la SPE). Un cop implantats, 3 característiques els són pròpies:

· Tenen l'objectiu de permetre que la tributària "floti" dins la tributària VT.
Permeten el funcionament asíncron en una xarxa síncrona i operacions de xarxa dinàmiques i flexibles. L'actualització del punter a cada node permet afrontar desajusts de fase de temporització i desajusts de rellotge. L'actualització respon al fet que el VC-4 pot moure's positiva o negativament, 3 bytes de cop, respecte a la trama de transport.
Si hi ha offset de freqüència entre la velocitat del SOH i del VC, té lloc el procés de justificació de freqüència per mitjà d'omplir bytes al punter d'AU.

· Reducció del retard de la xarxa quan aquesta funciona en mode asíncron.
Abans s'optava per buffers de desplaçament VC-4 de 125ms a les entrades dels equips de multiplexació. Aquests, comportaven 2 resultats indesitjats: introducció de retard a la senyal i deteriorament de la senyal pel desplaçament. L'ús de punters evita aquestes dues característiques, però crea un nou deteriorament (que s'exposa a la tercera característica).

· Creació del deteriorament de senyal denominat Fluctuació per ajust de punter.
Una fluctuació excessiva en una senyal tributària influirà sobre el funcionament dels equips de xarxa encarregats de processar el següent senyal. Serà cura del disseny, minimitzar el nombre d'ajusts de punter.

B) JUSTIFICACIÓ DE FREQÜÈNCIA

Es disposen de dos mètodes per mapejar la tributària a la trama: Mode flotant (en què s'incrementa o decrementa el valor del punter per compensar variacions de temporització que puguin ocórrer durant la transmissió a través de la xarxa) i Mode enclavat (que no utilitza punters i la tributària és fixa dins la trama -no pot flotar-. Això és molt simple i requereix que la temporització es mantingui a través de la xarxa; només d'aquesta manera el processament del tràfic s'executa eficientment).

Per al mètode flotant, es coneix per justificació de freqüència el procés en que tenen lloc ajusts dinàmics de punters del SPE, disposant així de capacitat d'acomodació d'offsets de freqüència i acceptació de velocitats variables. (De fet, una situació de les més comuns en una xarxa SONET és tenir equips operant amb rellotges lleugerament diferents, donant lloc a offsets de freqüència i la generació d'un SPE a una velocitat, mentre que el transport té lloc a una altra).

Els ajusts de punter permeten que les trames SPE flotin respecte la capçalera de transport per mantenir un nivell nominal d'emmagatzematge en les interfícies d'emmagatzematge elàstic.

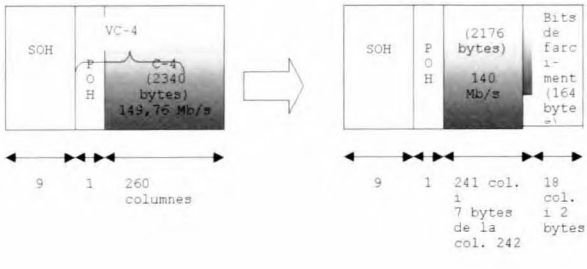
Dos casos poden donar-se: "positive byte stuffing i "negative byte stuffing".

Per protegir d'errors d'interpretació les operacions de byte-stuffing, l'increment o decrement del punter és redundantment codificat, transmetent-se el nou valor en les pròximes 3 trames a la d'ajustament. Resultat d'això, és que l'ajustament d'un byte només pot fer-se un cop cada 4 trames (o cada 500ms); aquesta elecció de freqüència d'ajusts de temps respon més al desig de simplificar el procés (cada 4 trames SPE amb precissió de 320 ppm) que no pas al d'assegurar un marge d'operacions lliure d'errors (cada 64 trames SPE i 20 ppm).

Amb tot, el procés de byte-stuffing (o bit-stuffing) introdueix un jitter de fase a les tributàries SPE (a les senyals DS1 multiplexades en senyals DS2 o DS3, p. ex.).

C) BITS ADDICIONALS DE FARCIMENT

El següent exemple gràfic mostra la funció dels bits addicionals de farciment (bits amb què ha d'omplir-se l'espai del contenidor que no és ocupat per ser menor la capacitat requerida per la senyal tributària). Sigui un senyal de 140 Mbit/s (exactament 139,264 Mbit/s) sincronitzant-se amb una capacitat de tràfic de 149,76 Mbit/s (aportada pel C-4):



DESCARTES Y EL SUEÑO

Ximo Fortanet Fernández

Estudiante de Filosofía, Universidad de Barcelona

René Descartes (1596-1650) fue el primer pensador que detonó la seguridad de lo cotidiano con su método filosófico. Hasta entonces ningún método filosófico - con excepción de algunos de los pensadores de la antigua Grecia - había hecho tambalearse la seguridad que provoca la indiferencia de la costumbre, de la normalidad. Descartes utilizó la duda no a la manera de los escépticos (dudar por dudar), sino como método; es decir, primero la duda se convertía en dominadora de su razón hasta encontrar aquellas verdades indudables para, más tarde, hilvanar sobre estas verdades claras una filosofía. No trata Descartes la duda sino para erigir una filosofía fundada en la verdad, y para ello cree que es necesario dudar metódicamente con el fin de encontrar el conocimiento verdadero.

Esta duda metódica llevará a Descartes a plantearse la veracidad del mundo sensible. Efectivamente, el soldado al que le han amputado una pierna afirma que aún la siente, él la considera real; para el soldado su inexistente pierna está inmersa en la realidad; es exacerbadamente real. De la misma manera podemos dudar si nos encontramos en este preciso momento en un sueño, de suerte que cuando despertemos lo que nos está ocurriendo en este preciso instante no pertenezca a la verdad, y tan solo haya sido un sueño. Todo es dudado por sistema con el fin de encontrar aquello que ,por su evidencia, no contemple la posibilidad de ser dudado. Yo puedo dudar de todo, salvo de que dudo y al dudar...pienso. Pero para pensar es preciso previamente existir. Luego, yo pienso y por tanto existo. Descartes encuentra la raíz del ser en la duda misma y a partir de aquí se adentra en la conformación de su filosofía, que discrepará profundamente con la ortodoxia escolástica imperante; pero ello se aleja ya del tema a tratar.

Tenido ya un esbozo - aunque simplista - de la parte de la filosofía cartesiana[1] más indispensable, podremos acercarnos un tanto al tema de este escrito: Descartes y el sueño.

No nos interesan tanto los resultados ontológicos de Descartes como su método en sí (el dudar para encontrar la verdad).

Bajo el método cartesiano, al plantearse la duda como constante del pensamiento nos trobamos con la fragilidad de lo real, con la levedad de nuestra seguridad. Descartes nos invita a considerar que nuestros sentidos nos engañan, lo que es soportable e incluso nos puede resultar en cierta manera cómico. Pero al considerar que nuestras más acérrimas costumbres, nuestra vida, nuestras acciones, nuestro trabajo - la normalidad - pueden derivar de un sueño nos invade una acuosa angustia ,privados de suelo firme y descendidos a las ignotas ciénagas del sueño.

Al plantearse la duda como constante del pensamiento nos trobamos con la fragilidad de lo real, con la levedad de nuestra seguridad

En el momento en que Descartes habla de la posibilidad de que la realidad fuera sueño (ver en el 'Discurso del Método' y en las 'Meditaciones Metafísicas') una tibia turbación le asalta, que se percibe claramente en el pulso de su escritura.

Quizás le asalte la certidumbre de que, aunque la realidad en que vivimos fuese un sueño, podría ser este sueño la única verdad.

No hay motivo racional aparente para juzgar que el sueño contenga un grado de verdad menor que la vigilia, por lo que si dudamos de la realidad afirmando que es un sueño, no de ello se sigue que carezca, como afirma Descartes, del grado de verdad que nos proporciona la vigilia.

Esta duda que jubilea en la mente nos ha llevado a la consideración de la posibilidad de que todo nuestro mundo, las creencias, los valores más universales, las pasiones más desbordantes... no sean más que un sueño; pero, podría ocurrir que este sueño fuera verdad, que fuera la maldita verdad que esconde la existencia: que todo no sea más que un sueño.

Pero ello no es la causa de la angustia que asalta tanto a Descartes como a nosotros mismos cuando consideramos que todo podría ser un sueño. Quizás nos causa angustia la certeza de que el sueño es nuestro; nosotros somos los creadores absolutos de toda nuestra realidad, ya

que el soñar implica la creación de un mundo completamente insólito. Si la realidad fuese un sueño, el mundo real con sus valores, sus horarios, sus maldades y sus devenires sería creación y responsabilidad nuestra. Poseemos, como mínimo en el sueño, una libertad creadora, que no solamente crea nuestro proyecto de vida sino que crea la verdad que se esconde agazapada en cada acto.

Afirmar esta consideración era inviable para Descartes, ya que sostenía que , si bien podemos dudar si nos encontramos en un estado de ensoñación o de vigilia, nunca podemos dudar de que es verdad la realidad que Dios ha establecido. Es decir, no podemos dudar de que no se debe matar. De que debemos amar al prójimo. De que debemos albergar pensamientos puros. Si la realidad no contuviese ese grado de verdad absoluta, los mandamientos eclesiásticos y toda clase de verdad última podrían ser creación humana - ya que suponemos que la realidad es sueño y ese sueño es nuestro - y no divina.

La simple concepción de una posibilidad como ésta (que las verdades religiosas fueran creación humana) era impensable para una sociedad (la de Descartes) que seis meses antes de la publicación del 'Discurso del Método' había quemado vivo a Giordano Bruno por afirmar la infinitud del universo.

Incluso el propio Descartes quizás no concebía la posibilidad de dudar de la procedencia divina de la verdad, ya que la duda implicaba imperfección, y Dios no era imperfecto.

Descartes probaba la existencia de Dios por un círculo vicioso en el que es indispensable la concepción de verdad. Dios existe porque el hombre tiene una idea de él perfecta. Y la idea de Dios ,por ser perfecta, conlleva , a su vez, su propia existencia. Pero de la misma manera es el mismo Dios quien ha provocado en el hombre esta idea que, por ser divina y ser lo divino perfecto, es verdad.

La cabida, mediante la vía del sueño, de la duda en la verdad divina habría de llevar a Descartes a negar la existencia racional de Dios

Si la duda metódica anula la validez absoluta de la verdad, anula el argumento de la existencia de Dios .

La cabida ,mediante la vía del sueño, de la duda en la verdad divina habría de llevar a Descartes a negar la existencia racional de Dios, cosa que era en ese tiempo (s.XVII) imposible.

Quizás por ello Descartes expulsa al sueño de la filosofía de una manera tan perentoria que se precisarán dos siglos de crisis para restablecer el sueño dentro del ámbito de la experiencia filosófica.

René Descartes (1596-1650)

La manera en que eliminó al sueño de la filosofía fue atribuyéndolo a la imperfección del hombre; a lo que Descartes llamaba el no-ser. El sueño pertenece al no-ser. El no-ser (la imperfección) supone axiomáticamente la falsedad; en la misma medida el ser ,(lo que de perfecto hay en nosotros) presupone la verdad.

Y sobre estos presupuestos no hay cabida para la fatal duda metódica. Descartes nunca osará invertir los términos de la relación perfección-imperfección , aunque tan solo sea de manera 'ficticia' o 'imaginativa'. No se planteará la posibilidad de que la verdad no resida en la perfección, ya que la propia perfección es definida como verdad.

La raíz del deshecho del sueño ,aunque tan solo sea como posibilidad de mutar los patrones de verdad, está en la concepción cartesiana de la libertad humana: Descartes es el fundador del racionalismo francés y como tal, tiene una honda creencia en la libertad del pensamiento humano. Pero en esta libertad, el hombre que es libre para crear el mal (falsedad) no lo es para crear el bien(verdad).

Se trata de una autonomía para conocer la verdad, pero no de una libertad creadora. Existe el libre albedrío pero tan solo ligado con la negatividad, esto es, tan solo hay libertad para crear el mal, lo imperfecto, el no-ser (negatividad). No existe una libertad positiva, ya que la única libertad que hay en este sentido es la de adscribirse a la verdad prefabricada.

O haces lo que está bien, o creas tú mismo el mal.

Pero en el sueño el hombre se erige creador de todo, del bien , de la verdad, modela el mundo onírico a su querencia pudiendo convertir fantasías estéticas como son

pétalos de rosa en núviles ninfas de la isla de Lesbos portadoras de la verdad.

El mundo del sueño no respeta ningún patrón preconcebido de la idea de verdad. Es verdad aquello que en el sueño es considerado como tal. El ámbito del sueño transgrede el plano de la verdad universal.

Al soñar perdemos el dominio ejercido por nuestra conciencia dejándola a merced de esas fuerzas inefables que dominan al sueño

Cuando hablamos del sueño no nos referimos al contenido específico de los sueños (lo que hemos soñado), sino que nos preocupa el hecho de soñar, al magnífico estado en que nos sumimos cuando soñamos, cuando despertamos de la vigilia. Este sueño no se tiene que dar exclusivamente en la noche.

Nos replegamos sobre nosotros mismos cuando nos ensimismamos al igual que ocurre en el sueño, y el tiempo se distorsiona de igual manera. No hay necesidad de estar dormido para soñar. Al soñar perdemos el dominio ejercido por nuestra conciencia y entonces todo el esfuerzo que ejercemos por mantener inmóvil a la verdad se pierde, dejándola a merced de esas fuerzas inefables que dominan al sueño.

Previamente hemos afirmado que en el sueño poseíamos una libertad creadora , lo cual era inconcebible para Descartes.

Quizás nuestra mirada ha sido un tanto precipitada. Si analizamos el acto del soñar, vemos pronto que en él nosotros carecemos de control absoluto. Nuestro 'yo', el sujeto, se diluye y no somos más que una suerte de centro de fuerzas, un vacío que se plena de mundos insólitos articulados incongruentemente. Queda claro, pues, que en el sueño el sujeto no es creador consciente. Pero el estudio de este ámbito rebasa con mucho la amplitud de este escrito. En este momento no nos importa quien es exactamente el creador del sueño, lo que nos importa es que rompe la monotonía de lo real, la verdad absoluta de la vigilia. Nos causa angustia, ya sea porque nos erigimos creadores de todo, ya sea por que nos convertimos en artífices y responsables de ser el centro de esa amalgama de fuerzas que articula el sueño. Y es este el motivo por el cual si Descartes hubiera admitido la experiencia del sueño (o de la locura) dentro de los límites de su reflexión, ésta le hubiera llevado a proclamar una libertad humana completa, es decir, creadora. Pero ello conllevaba discrepar con la teología gobernante. De nuevo - y de siempre - la ortodoxia impedía la libertad de pensamiento.

El hombre no tan solo transgrede el plano de la verdad en los sueños. Incluso inconscientemente, llevado por la inercia de la raíz ignota de la vida, se repliega sobre sí mismo, tildando de verdad absoluta sus propios instintos reprimidos u ocultos. Puede defender con toda su fe, con toda su fuerza y con toda su racionalidad ideas que emanan directamente de sus instintos o pasiones más profundas; que son creación suya. Este es el caso de Descartes. Descartes elimina a la libertad creadora del ámbito de lo humano. Anula la creación. Pero al anular algo tan radicalmente visible debe argumentar contra la inmediata y universal experiencia del sueño, empleando todo su ingenio.

No obstante siente al mismo tiempo una oficiosa religiosidad y una sublime pasión por la libertad. No puede concebir un mundo sin libertad verdadera, así como no puede concebir un mundo sin el Dios de la escolástica. Por ello en su filosofía tan solo la libertad de Dios limita a la libertad del hombre.

Magnífica manera de salvar esta dualidad de su pensamiento, aún sea a costa de deformar tanto la idea de libertad como la de Dios, haciendo de la libertad humana creadora una libertad negativa, y del Dios todopoderoso una sublimación de sus propios sueños: de sus sueños de libertad.

El sueño juega a un obnubilado baile de máscaras, ajado de delirio y riéndose de nuestro mundo

Descartes mutila el ámbito de experiencia del sueño, lo considera falso, imperfecto, capaz como tal de albergar la duda y ,por lo tanto, no perteneciente a la verdad y desechable. Anulado. Parece que el sueño ha quedado ya relegado de la filosofía de Descartes; él mismo lo afirma así. Pero no es posible encontrar un sueño en la luminosidad de la vigilia. Siempre permanece agazapado en algún oscuro rincón en dónde la sombra le permita la ensoñación.

Y ensoñación es artificio, engaño y voluptuosidad. El sueño juega a un obnubilado baile de máscaras, ajado de delirio y riéndose de nuestro mundo, disfrazado de inexpugnables creencias. Toma una máscara y evita así a nuestra conciencia. Descartes lo creía excomulgado aún cuando el sueño es su propia comunión. Vapores humosos emanan de la conspicua vacuidad del eje del soñar y conforman, exhalados hasta el infinito, el rostro divino de Dios.

[1] Es decir, de Descartes. Cartesiano es un adjetivo que se comenzó a utilizar debido a la moda renacentista de latinizar los apellidos.

BERLÍN, CONSTRUYENDO LA CAPITAL DE EUROPA

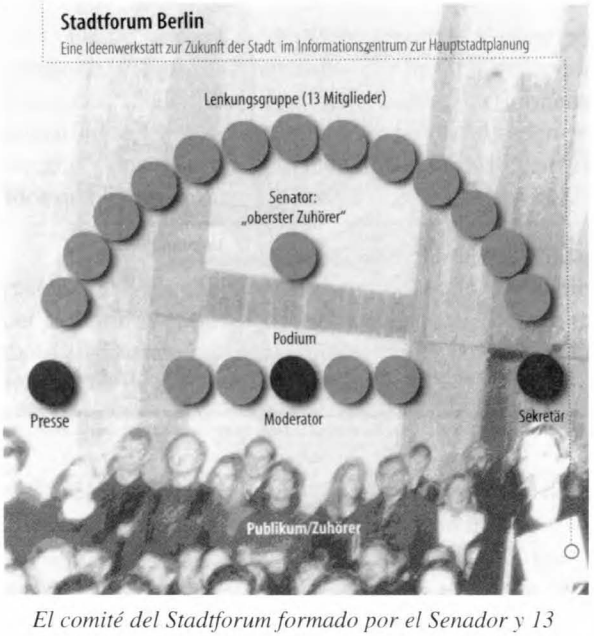
Estíbaliz Bear Chinea

Estudiante de la ETSETB y miembro de la Rama de Estudiantes del IEEE de Barcelona
liz25@casal.upc.es

Nueve años han pasado y para muchos berlineses el Muro todavía existe mentalmente, dividiendo la ciudad en este y oeste. Pero ambos Berlines tienen sus propios centros, sus propios este, oeste, norte y sur, basados en distritos históricos. Es una ciudad en cambio. Una ciudad reinventándose a sí misma. Ciertamente, reconstruyéndose a si misma. La Postdamer Platz es la mayor obra de Europa y las industrias multinacionales la han escogido para establecer sus sedes.

El desplazamiento del gobierno alemán desde Bohn a Berlín formaba parte del cambio de legislación de las últimas elecciones y está previsto para 1999 casi en su totalidad. Conexiones mediante fibra óptica, que garantizan un gran ancho de banda, facilitan las comunicaciones necesarias entre ambas ciudades en todo el proceso. Así son posibles opciones de comunicaciones como las videoconferencias a buena velocidad.

Actualmente las grúas conquistan el perfil de la ciudad, ocultando su melancólico encanto. Berlín es una ciudad con poder. Poder para que sintamos emoción por su historia pero no de forma ajena como observadores, sino que participemos de ella, de los cambios que vive y ante todo hacernos pensar en el pasado, el presente y el futuro que la prometen como la gran capital europea.



El comité del Stadtforum formado por el Senador y 13 miembros donde pueden ser escuchados todos los ciudadanos.

LA PLANIFICACIÓN: DOS CONCEPTOS

Para poder entender mejor la planificación de Berlín debemos considerar a los planificadores y a sus intentos por establecer una especie de 'estándar' en la construcción de edificios o recuperación de zonas públicas. En este parágrafo se trata de describir los conceptos que luego se utilizarán en la descripción de las zonas.

El gran número de proyectos y las condiciones cambiantes, junto con los recursos limitados de la ciudad, especialmente económicos después de la reunificación, han forzado a necesitar un acuerdo general, adaptando y refinando todos los proyectos. Esto generó el desarrollo de dos estrategias de planificación bastante diferentes pero ambas basadas en experiencias relacionadas con la International Building Exhibition (IBA) en los años 80 y promovidas por políticos responsables del departamento de planificación.

La reconstrucción crítica de la ciudad (critical reconstruction) se basa en un concepto desarrollado por el arquitecto Josef Paul Kleihues, director del IBA. Fue formulada por Hans Stimmann en 1991/92 quien propuso un conjunto de normas para la aprobación de los proyectos en un área de la ciudad. Entre estas normas se encontraba la reconstrucción fiel de las calles, altura máxima de 22m, y un mínimo del 20% del total construido dedicado a viviendas. A pesar de que sus intenciones eran puramente estructurales y funcionales estas normas pasaron a ser la única norma de diseño, resultando edificios un poco 'apagados', y generando debates infructuosos que acabaron en un duro enfrentamiento sobre las fachadas de piedra o cristal en la Pariser Platz.

Los resultados insatisfactorios llevaron a la reformulación de las normas para el interior de la ciudad. El 'Inner City Plan' no está basado en el estudio de la arquitectura existente, que varía con la zona. Permite romper con la estructura antigua de las calles aprovechando el espacio perdido, como las calles demasiado anchas o las zonas verdes en desuso. Esto debe considerarse desde el punto de vista de una ciudad con muchas, quizás demasiadas zonas verdes, que a menudo nos hacen olvidar que nos encontramos en una gran metrópolis.

Los fundamentos teóricos de este segundo proyecto no se corresponden con su riqueza. Los promotores han

La Postdamer Platz en los años veinte.

desarrollado un proceso por fases basándose en las discusiones públicas. El consenso de la sociedad y de los planificadores es la única vía para realizar un cambio importante en la estructura de la ciudad.

El elemento usado para la discusión de los planes es el Stadtforum (forum de la ciudad), el parlamento de los planificadores, que actualmente está siendo coordinado por Philip Meuser. Evidentemente no todo se decide en las sesiones públicas, las decisiones urgentes las propuestas se realizan desde el núcleo central. Pero aproximadamente cada mes desde 1991 se han podido conocer y discutir los proyectos en curso. Cualquier ciudadano tiene derecho a hablar sobre los planes expuestos y sus propuestas se considerarán y discutirán en las sesiones. No existen votaciones, pero el consenso es siempre perseguido. Muchas ciudades podrían considerar esta posibilidad para ser más democráticas.

POSTDAMER PLATZ

Los años veinte fueron la edad de oro de la Postdamer Platz. Era el centro latiente de Berlín. Devastada por la guerra, la insurrección y la construcción del muro, el corazón de Berlín dejo de latir.

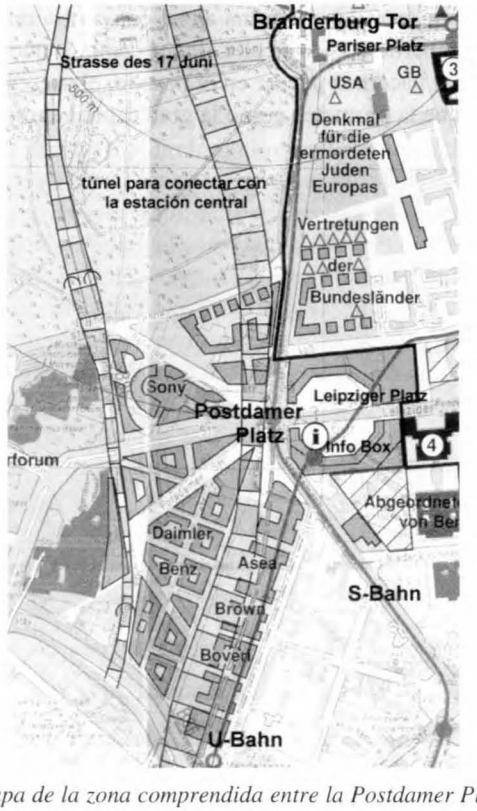
Berlín se convirtió en Nueva York sin Times Square o en Londres sin Trafalgar Square. La partición en sectores hizo de ella una zona de muerte para los refugiados desesperados del Este comunista.

Tras la caída del muro todos los ojos se volvieron hacia ella. En 1991 tuvo lugar un concurso de proyectos para la planificación. La propuesta vencedora apostaba por restaurar la estructura histórica de las calles de la plaza original. Para conseguir una mayor coherencia en el complejo las concesiones no fueron gestionadas individualmente, edificio por edificio, sino por sectores. así el gobierno berlinés vendió el terreno a tres grandes compañías internacionales que establecerán allí sus sedes (Sony, A+T y Daimler-Benz), ayudando así a la viabilidad económica del proyecto.

Los problemas de infraestructura y de control de tráfico han sido coordinados por todos los relacionados en y alrededor de la Postdamer Platz así como por el Gobierno Federal y de la ciudad. Hacia el norte un nuevo túnel ferroviario para trenes de cercanías conectará la Postdamer Platz con la nueva estación central de tren de Berlín, actualmente en construcción. La estación con más de 7 pisos de profundidad en tres niveles conectará las líneas este-oeste con las norte-sur y las líneas de metro de la ciudad. También tiene previsto acoger los trenes de alta velocidad como el de Berlín-Hamburgo uniendo el este y el oeste con la última tecnología.

La logística de la construcción de la Postdamer Platz es también por sí sola interesante. Se ha construido una carretera y un puente, así como un pequeño puerto en el río, para transportar los dos millones de toneladas de material y de tierra que hasta el año 2002 las incansables máquinas continuarán extrayendo. Sin compartir calles con el tráfico normal de la ciudad llegan los camiones a una vieja estación de tren en desuso desde donde todo el material puede salir y entrar a Berlín sin bloquear la ciudad. Del mismo modo una fábrica se encarga de producir el material necesario en el mismo lugar de la obra.

Se ha lanzado una inmensa campaña de publicidad para mantener a la prensa y al público en general completamente informados sobre cada nuevo avance en la obra. El máximo de la genialidad fue la edificación del Info Box. Un bloque preconstruido de color rojo que debe su existencia al afán del los ciudadanos y turistas por conocer los planes y por saber el aspecto final de esta obra a gran escala. Mas de mil metros cuadrados para poder exponer el futuro lleno de souvenirs, publicidad de empresas e



Mapa de la zona comprendida entre la Postdamer Platz y la Puerta de Brandenburgo.

El tráfico rodado atraviesa actualmente la Puerta de Brandenburgo

incluso un restaurante. Una caja roja en medio de un gran número de grúas y caos, y que está preparada para desmantelarse y trasladarse cuando las obras finalicen.

Las previsiones nos dicen que cuando la Postdamer Platz esté acabada recibirá unas 100.000 visitas diarias y unas 18.000 personas vivirán y trabajarán en la que hoy es la mayor construcción de toda Europa.

PARISER PLATZ – BRANDENBURG TOR

Originalmente la plaza de París, alrededor de la Puerta de Brandenburgo, estaba compuesta por prestigiosos edificios. Debido a la guerra y al Muro, la Puerta de Brandenburgo se alzaba hasta ahora como un monumento aislado, el mejor símbolo de la guerra fría. Tras la reunificación un intenso tuvo lugar. La decisión se hallaba entre una fiel reconstrucción de la plaza original o desviar el tráfico para que rodease la Puerta como en el Arco del Triunfo de París. Finalmente se optó por una opción mixta. Se volvía a la estructura original de la plaza pero las fachadas de los nuevos edificios podrían ser modernas.

Desde la Strasse des 17. Juni podemos pasar por debajo de la Puerta de Brandenburgo y llegar al boulevard Unter den Linden (bajo los tilos), donde anteriormente tenían lugar los desfiles militares y hoy se suceden las terrazas y los comercios a ambos lados de las líneas de tilos que le dan nombre.

Como en cualquier otro lugar en Berlín, la 'critical reconstruction' en la plaza de París tiene éxito al restablecer el sentido perdido del urbanismo pero no se logra un éxito arquitectónico si los arquitectos no van más allá e impregnan de vida los nuevos edificios.

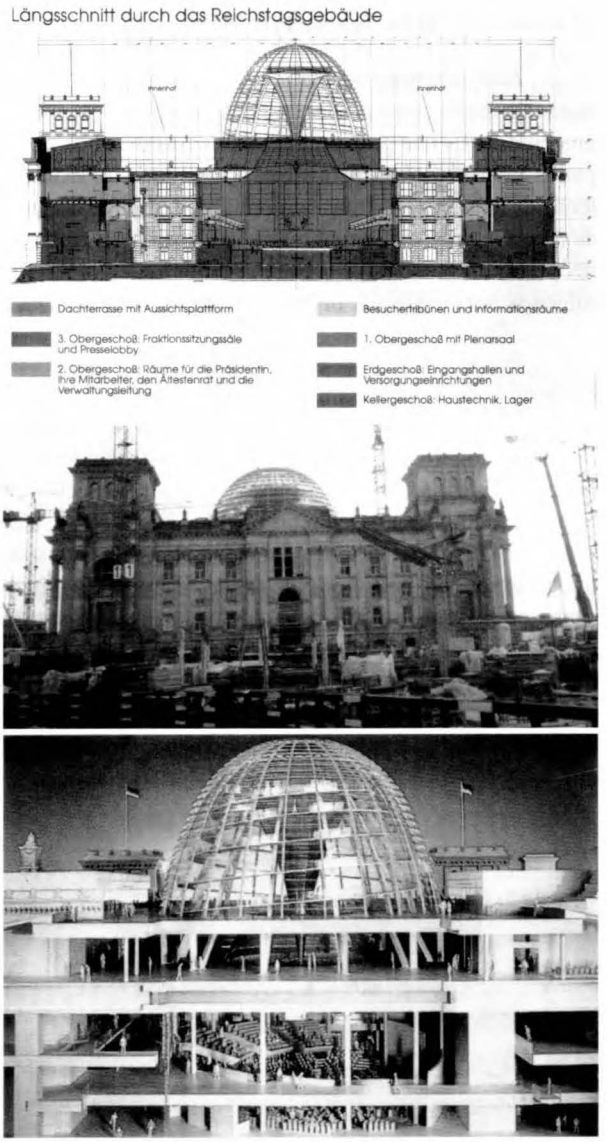
REICHSTAG

El Reichstag es el símbolo más poderoso de la Alemania del siglo XX. Ha sobrevivido al incendio provocado, al bombardeo aéreo, al ataque de las tropas rusas y a años de negligencia.

A pesar de que su exterior fue en un principio ya restaurado con un cierto parecido al original (excepto la cúpula que no se reconstruyó) y su interior rediseñado para dar cabida a los congresistas con asientos especiales para el gobierno de la preunificación de la Alemania del Oeste, continuaba siendo un vacío armazón lleno de recuerdos en una olvidada esquina de la ciudad dividida.

El gran debate en la conversión actual del Reichstag ha sido la cúpula. Sir Norman Foster, ganador del concurso, optaba por una cúpula de cristal mientras que el canciller Kohl favorecía la reconstrucción de la original. La cúpula final diseñada por Foster ha sido una combinación de ambas ideas.

Esta cúpula será accesible al público mediante una rampa que va describiendo círculos alrededor. Con un restaurante en su base y una plataforma con vistas en la parte alta esta cúpula de cristal pretende mostrar la transparencia de la política y la accesibilidad al público. Al mismo tiempo distribuye luz y calor a su interior. La luz



Reichstag. En la parte superior, un plano de las reformas a realizar en el Reichstag. En el centro, una fotografía del estado actual de las obras. En la parte inferior un detalle de una maqueta nos permite ver la cúpula e incluso la rampa interna por donde el público podrá acceder.

entra por la cúpula de cristal y se refleja en un cono con pequeños espejos, cada uno con la inclinación necesaria para que dirijan la luz verticalmente hacia su interior y puedan generar luz y calor de una forma limpia. La cúpula dispone también de un sistema de ventilación abriendo unas ventanas para que no llegue a verse afectada por el fenómeno de condensación y ayude a refrigerar el edificio en las épocas calurosas.

El gobierno alemán en su afán de promover los planes de energía limpia apoyó el sistema de calefacción del Reichstag. Este sistema se basa en un estudio del subsuelo que descubría las condiciones idóneas para aprovechar el espacio entre dos capas del subsuelo como complemento para almacenar el agua caliente. Este sistema supone una gran inversión que tardará más de diez años en ser amortizada pero supone un impulso para que las iniciativas privadas sigan el ejemplo y opten por energías limpias.

HACKESCHE HÖFE

Este laberinto de edificios y patios es una de las muestras mejor conservadas de este concepto de la vida en una ciudad. Es una gran manzana de casas dividida por 9 patios interiores. Los patios cercanos a la parte exterior tendrían una actividad más comercial con oficinas además de cines, teatros, etc., mientras que los patios mas interiores pensados para residir evitan el bullicio de comercios ruidosos para preservar el descanso de sus propietarios.

Entrar en el bloque es una fuente de sorpresas. Partiendo de la sensación que producen unas fachadas interiores coloridas y llenas de vida con sus restaurantes típicos o modernos y la gente tranquila disfrutando de la noche berlinesa se va evolucionando hacia la sensación de estar en medio de un pequeño pueblo, en su plaza, con todos los balcones llenos de esa vida cotidiana a tan sólo unos metros del bullicio. Nuestro paseo por los patios acaba en los más tranquilos dónde el mismo silencio te obliga a respetarlos y te encuentras, inevitablemente, modulando tu voz para evitar romper la tranquilidad, la paz. Tras esto no queda otro camino para volver a nuestro Berlín que deshacer nuestros pasos y reencontrar el bullicio.

Aspecto exterior del Museo Judío de Berlín. Grandes paredes y pequeñas ventanas tienen detrás mucho simbolismo.

Hackesche Höfe, un estilo de vida diferente

Este mundo en miniatura –rico y pobre, residencial y comercial, todo mezclado y compactado- era el Berlín de antes de la guerra, el Berlín de piedra, con todo lo bueno y lo malo. Aunque los edificios se han deteriorado, una especie de decaimiento romántico se ha sumado a su encanto. Después del colapso de la RDA hubo una batalla sobre los derechos de propiedad y las propuestas de diseño. Al final el inversor tuvo que ceder ante la gente y las autoridades en favor de la conservación histórica. Los compromisos alcanzados aseguraban una mezcla de actividades artísticas con casas renovadas y espacio viable para oficinas. El resultado es impresionante, el Hachesche Höfe pasó de ser una colección de tiendas de comestibles vacías a ser un atractor de nuevos negocios por la vitalidad de sus patios y cada vez hay más actividad económica, convirtiéndose en el centro del Berlín Bohemio.

Este concepto resucitado de mezclar todos los componentes de la ciudad, que aproxima el ocio al trabajo y a la vida, es el concepto judío de la vida en una ciudad, que se enfrenta a los intentos de algunos arquitectos y urbanistas de tratar de separar cada parte de la vida de los ciudadanos para que ésta se desarrolle en una zona de la ciudad. Aunque para algunos propósitos ésta última puede ser una opción válida, también es cierto que una decisión así mataría la actividad de algunas zonas en franjas horarias determinadas.

JEWISH MUSEUM

En 1988, tras un cuarto de siglo de debate, se decidió la realización de un concurso para una extensión del Museo de Berlín, documentando la historia de la comunidad judía de la ciudad. El arquitecto Daniel Libeskind fue premiado por su proyecto que se basaba en tres ideas.

La primera es la imposibilidad de entender la historia de Berlín sin entender la enorme contribución intelectual, económica y cultural hecha por los ciudadanos judíos de Berlín. La segunda, la necesidad de integrar física y espiritualmente el significado del Holocausto en la conciencia y en la memoria de Berlín. La tercera, que tan sólo mediante el conocimiento y la incorporación de la ausencia y del vacío de la vida judía en Berlín puede tener la historia de Berlín y Europa un futuro.

El simbolismo del museo supera cualquier descripción arquitectónica. El museo está organizado en tres ejes entrecruzados rodeando el vacío, algo inexistente. Sus paredes serán cubiertas con los nombres de ciudadanos judíos de Berlín que fueron deportados y exterminados. Como visitantes del museo podemos experimentar el vacío dejado por aquellos cuyos nombres leemos.

Todo este simbolismo queda envuelto por estructuras rígidas, metálicas, espacios grandes, pero con pequeños ventanucos por donde los juegos de la escasa luz iluminan las simbólicas paredes.

OBERBAUMBRÜCKE

Como el Puente de la Torre de Londres, Oberbaumbrücke simboliza la entrada este al centro histórico de Berlín. Construido en 1896 esta estructura neogótica acogía no sólo el tráfico normal sino que también la línea elevada del tren urbano (S-Bahn) mediante una arcada, una solución asimétrica para un sistema de transporte moderno. Durante los últimos días de la Segunda Guerra Mundial la parte central fue volada y gran parte del puente reducido a escombros. Durante los años cincuenta una estructura provisional de acero cubrió el hueco. Con la construcción del Muro tan sólo un control para los berlineses del Oeste estaba situado en el puente. Sólo a veces podía verse algún peatón solitario en sus ruinas.

En 1992 el puente empezó a reconstruirse. Buceadores buscaron en el manto del río Spree fragmentos que pudiesen reintegrarse en el puente o servir como modelo para la reconstrucción de los más de 460 tipos diferentes de ladrillos especialmente construidos para este puente. Se reforzó su estructura sobre el río para que pudiese soportar el peso de los vehículos modernos así como del S-Bahn.

Un nuevo arco de acero diseñado por Santiago Calatrava sustituye el de 1950. Esta intervención moderna en la decorativa obra de ladrillo conservando la elegancia es un precioso y sutil ejemplo de la ingeniería moderna realzando una estructura histórica.

EL FUTURO

Los procesos de cambio que sufre la ciudad son muchos. Existen zonas que están siendo reconstruidas por completo. Desde el gobierno se ha procurado impulsar el cambio con los mejores medios disponibles para que garanticen su éxito. Las iniciativas privadas no se han quedado al margen, han colaborado apoyando los proyectos y tratando de cumplir las fechas propuestas.

Pero la vida de una ciudad no se alimenta de los edificios, ni de las calles, ni de los transportes. Se nutre de sus habitantes, de las personas y del uso que estas personas hacen de estos edificios y calles. Y ahí está el miedo. Miedo a que Berlín no vuelva a ser un punto multicultural,

Oberbaumbrücke. Aspecto actual del puente con el nuevo arco de acero diseñado por Santiago Calatrava.

cuna de modas e ideas, con un desenfado difícil de encontrar en el resto de Alemania.

La pregunta está en el aire, ¿recuperará Berlín su identidad tras la reconstrucción? Con los años, cuando las obras finalicen y los miles de obreros sean sustituidos por los nuevos negocios y actividades, una breve visita a la ciudad nos podrá dar respuesta a nuestras dudas. Pero, hoy por hoy, somos muchos los que apostamos por ella como la gran capital europea.

AGRADECIMIENTOS

A la asociación europea BEST (Board of European Students for Technology) y a la alemana BONDING-studenteniniative por la posibilidad de realizar el curso "TOWN PLANING" en Berlín en Julio de 1998.

Especialmente a toda la gente de BONDING-Berlín por la organización y el material que pusieron a nuestra disposición sin olvidar las dos semanas de buenos momentos y a todas las personas que nos dedicaron unas horas de su tiempo.

A los arquitectosy críticos arquitectónicos fuentes de muchas ideas expresadas en el artículo, entre otros: Philip Meuser (Stadtforum), Josef Paul Kleihues (critical reconstruction), Nicolaus Bernau (museum island), y DominiK Wanders (colaborador de Daniel Libeskind en el Jewish Museum of Berlin).

REFERENCIAS

[1] Philips D. Berlin: A guide to recent architecture. Ellipsis Könemann, 1997

[2] Meuser P. Wie demokratisch ist das Planwerk?. Stadtforum, núm. 29, pág.34-35, Abril 1998.

[3] Exposición "Berlin Virtual, 2010" basada en una simulación por ordenador de Silycon Graphics dentro del programa "Berlin en Barcelona" Otoño 1998.

En Internet:

http://www.sony.co.jp/soj/CorporateInfo/Berlin
http://rudi.herts.ac.uk/ns-search/ej/udq/63/topic_4.html
http://www.berlin.de
http://www.cityscope.de
http://www.infobox.de

LAS TELECOMUNICACIONES FOTÓNICAS HACEN POSIBLE SUPER-INTERNET

Juan P. Torres, Lluís Torner, David Artigas y María C. Santos

Laboratori de Fotònica, Dep. de Teoria del Senyal i Comunicacions
E.T.S. Enginyeria de Telecomunicacions (UPC)

Las sociedades, como los organismos vivos, evolucionan en respuesta a retos y oportunidades. La investigación científica y el desarrollo tecnológico han sido fuentes de cambios dramáticos a lo largo de la historia. A veces, nuevas ideas han modificado nuestra percepción del mundo y de nosotros mismos, como las teorías heliocéntricas de Copérnico y Galileo. En otras ocasiones, nuevos descubrimientos han generado una inesperada revolución tecnológica, como en el caso de la invención del transistor en 1947 y su tremendo impacto en el desarrollo de la Electrónica.

Las Telecomunicaciones nacieron hace más de 150 años, con la invención del telégrafo en los años 1830-40. El continuo desarrollo que han experimentado desde entonces, ofreciendo cada vez mayor capacidad de transmisión y mayor facilidad para su uso, ha revolucionado muchos aspectos de nuestra sociedad: valores sociales, conductas y relaciones de trabajo. Pero es ahora, a finales del siglo XX, cuando la importancia de las comunicaciones parece hacerse omnipresente en todas y cada una las facetas de nuestra vida: la organización del trabajo y de las empresas, y las diversas formas de ocio. Se han acuñado diversos términos para describir esta nueva Sociedad, tales como la Nueva Economía, la Era Digital, la Aldea Global, la Edad de la Información y la Cibersociedad. Aunque con diferentes matices, todos estos términos se refieren a una nueva Sociedad profundamente dependiente de las Tecnologías de la Información. La relación entre las industrias dependientes de estas tecnologías y el crecimiento económico de la década de los 90, es similar a la relación que hubo en los años 20 entre las tecnologías del momento, el automóvil y la radio, y el vigoroso crecimiento económico de esa década.

ARPANET, INTERNET, SUPER-INTERNET

Uno de los paradigmas fundamentales de la Nueva Economía es Internet. A principios de los años 70, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos diseñó y desarrolló un sistema eficiente de conectar ordenadores entre sí. Así nació la red Arpanet. A finales de esa década, surgió de manera natural la idea de crear una red de redes, Internet, que conectara diversas redes entre sí. Internet se esta convirtiendo en poco tiempo en uno de los elementos que más está contribuyendo a crear un nuevo marco económico y social, y en las próximas décadas, transformará la forma del gobierno, la educación y el comercio en formas que difícilmente imaginamos ahora. En la actualidad, el comercio por Internet en los Estados Unidos es el 2 % de su Producto Interior Bruto, y se espera que alcance el 6 % antes del año 2005. Además, Internet ofrece nuevas posibilidades para muchos sectores económicos. Así, Citibank planea tener 1.000 millones de clientes en el mundo en al año 2010, y para ello cuenta con ofrecer nuevos servicios a través de Internet. Disney ya contempla Internet como la televisión del nuevo milenio, lo que por otro lado, creará más oportunidades para la programación de sus películas y series. Todos estos cambios harán que nazca lo que algunos llaman Super-Internet.

Se espera que antes del año 2001, habrá más de 200 millones de ordenadores conectados a Internet.

Super-Internet provoca una necesidad insaciable de capacidad de transmisión. Hasta hace poco, la red de comunicaciones ha estado casi exclusivamente dedicada a transmitir las conversaciones telefónicas que se generan en una red mundial de teléfonos que dispone de alrededor de 700 millones de terminales. No obstante, se espera que antes del año 2001, habrá más de 200 millones de ordenadores conectados a Internet. Existen planes en las naciones más industrializadas para conectar cada escuela del país a Internet, y hacer así posible el acceso de los niños a unas vivencias más allá de las de su barrio o de su ciudad. La red ha de aumentar notablemente tanto su capacidad para transmitir cualquier tipo de información, como su agilidad para adaptarse a las más diversas necesidades y escenarios. El elemento principal que hará

posible Super-Internet es la creación de una red de transmisión de información transparente, es decir, unas infraestructuras de comunicación donde el usuario no experimente prácticamente limitación en la cantidad de información que puede transmitir y recibir. Ello implica la posibilidad de adquirir capacidad de transmisión y recepción de información, en el mismo sentido que la potencia eléctrica, el caudal de agua y gas que se contrata en cada vivienda y en cada empresa depende de las necesidades y tipo de vida de cada usuario.

La capacidad potencial de un sólo cable es de varias decenas de Terabits por segundo

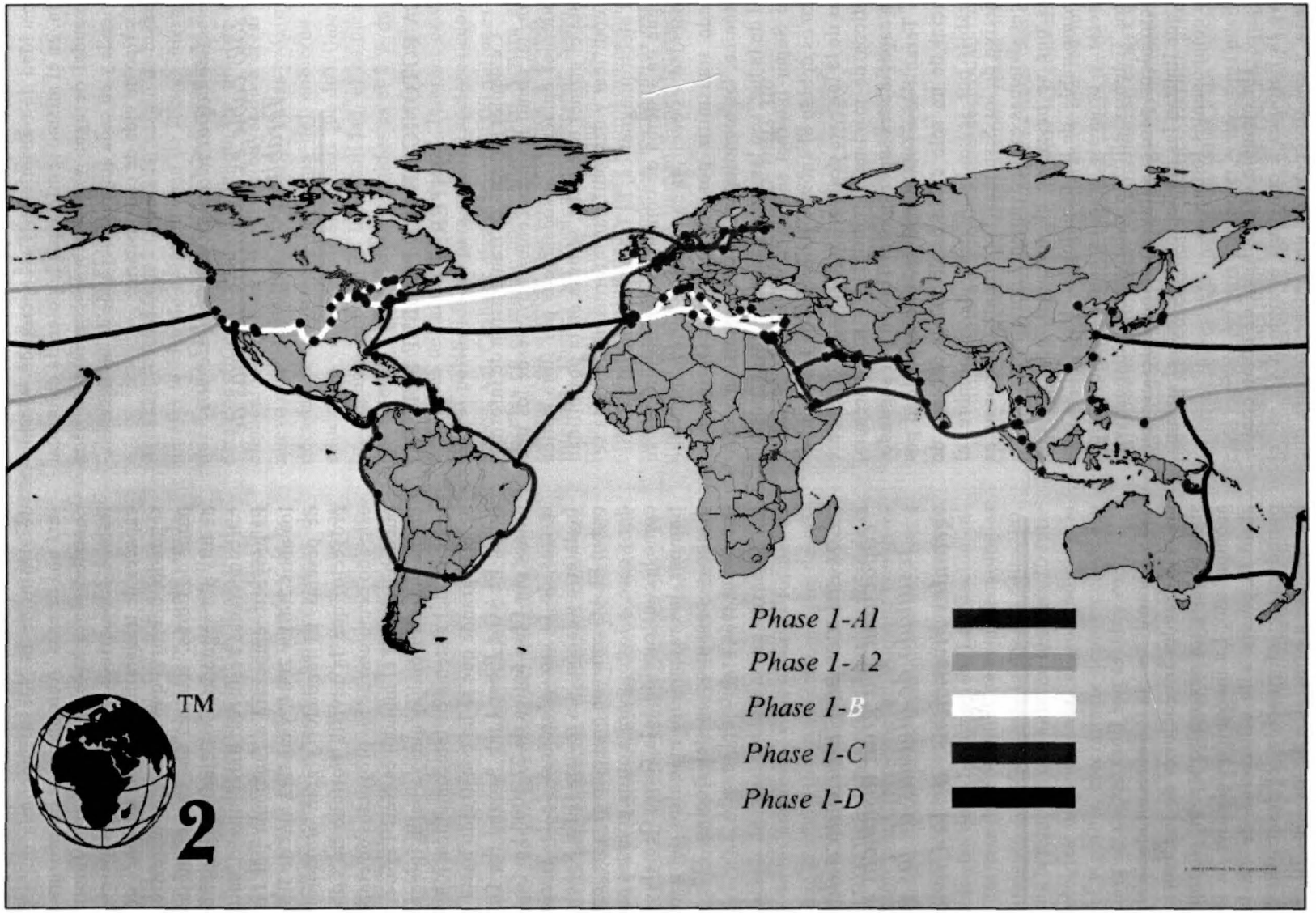
LA FOTÓNICA HACE POSIBLE SUPER-INTERNET

Cualquier sistema de transmisión de información, tal como los conocemos hoy, desde los más modernos enlaces transoceánicos por fibra óptica hasta el primer telégrafo, se basa en la posibilidad de codificar y descodificar información en una señal electromagnética. El factor primordial que distingue un sistema de comunicación de otro, es su capacidad, es decir, la cantidad de información que puede transmitir por segundo. La Óptica y la Fotónica, las tecnologías de la transmisión y control de la luz, son las encargadas de hacer posible que Super-Internet se convierta en una realidad. Esto es debido al enorme potencial de las tecnologías de la luz para desarrollar Sistemas Totalmente Ópticos de máxima flexibilidad y transparencia, con capacidades superiores al Terabit por segundo. Un Terabit son 1000 Gigabits, y la capacidad potencial de un sólo cable es de varias decenas de Terabits por segundo. A pesar de su nombre, el objetivo de los Sistemas Totalmente Ópticos no es hacer sistemas exclusivamente ópticos, sino sistemas que se basan en el potencial, hoy por hoy incomparable, de las tecnologías electrónicas para generar y procesar grandes cantidades de datos. Estos sistemas utilizan masivamente dispositivos electrónicos, pero sustituyen componentes esenciales que limitan las prestaciones de todo el sistema, por componentes fotónicos.

Un ejemplo excepcional de cómo contribuye la Fotónica a construir el siglo XXI, es el diseño y construcción de una infraestructura que aumentará considerablemente nuestra capacidad de comunicación a través de Internet, el proyecto Oxígeno. En Diciembre de 1998 empezará la fase de construcción de esta gran red de comunicaciones para el siglo XXI, que unirá más de 70 países de todos los continentes, excepto la Antártida, a través de más de 150.000 km de fibra óptica, extendida, en su mayor parte, en el fondo del océano. Este proyecto, así denominado por lo vital que será para el desarrollo de la Nueva Economía del siglo XXI, será una de esas 'Autopistas de la Información' que contribuirán a hacer posible Super-Internet . Los tramos submarinos constarán de 4 pares de fibra capaces de transmitir 640 mil millones de bits por segundo, mientras que los tramos terrestres, con 12 pares de fibras, tendrán una capacidad de 1 billón de bits por segundo. Dos ciudades españolas estarán conectadas a esta red: Barcelona y Conil (Cádiz). El proyecto empezará a funcionar por fases entre los años 2001 y 2004, y costará más de 1.5 billones de pesetas. El fundador y gran promotor de este proyecto, que la revista Fortune ha considerado este año como uno de los proyectos de empresa que pueden cambiar el mundo, es Neil Tagare, un hombre nacido en Bombay que ya participó en la construcción del sistema de telecomunicación submarino más grande que se ha construido hasta la actualidad, FLAG (Fiber Link Around the Globe), un enlace por fibra óptica de 27.3000 km (más de dos tercios de la circunferencia de la Tierra), entre Inglaterra y Japón. La revista IEEE Spectrum describió FLAG como un proyecto gigante, emprendedor y caro, y lo comparó a otros grandes proyectos, como la construcción de la Torres Gemelas en Kuala Lumpur, los rascacielos más altos del mundo, y el diseño y construcción del Boeing 777, el avión comercial más grande del mundo.

Los enlaces por fibra óptica de gran capacidad y a gran distancia son el resultado de algunas de las más grandes invenciones de la Ciencia de este siglo

Los enlaces por fibra óptica de gran capacidad y a gran distancia son el resultado de algunas de las más grandes invenciones de la Ciencia de este siglo y del gran desarrollo tecnológico que las ha acompañado. La invención del láser en 1958, que abrió la puerta a la utilización de la luz como portadora de información, el desarrollo de las fibras ópticas a principios de los años 70, la impresionante evolución de la Electrónica y la Informática desde la invención del transistor en 1947, y la introducción de la codificación digital de la



Release 5 **Project OXYGEN™ World Map** *Phase IABCD*

Imagen cedida por la empresa CTR Group Ltd.

información en los años 50 y 60, han hecho posible que la segunda mitad de este siglo haya visto un desarrollo espectacular de la capacidad de transmisión de información de los sistemas que utilizan la luz como mensajera. La realidad, hoy en día, de las comunicaciones a Terabit por segundo, es el resultado de dos desarrollos que han tenido éxito en los últimos 10 años, y que han permitido explotar el enorme ancho de banda que la fibra óptica ofrece, varios miles de Gigaherzios. Uno es el multiplexado en longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing), un método de enviar simultáneamente muchos haces de luz de diferente longitud de onda a lo largo de una fibra óptica. El otro desarrollo es el amplificador totalmente óptico, que restaura la señal a su intensidad original después que aquella haya sido atenuada por la fibra óptica. Los amplificadores, hechos de fibras ópticas dopadas con Erbio (EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifiers) llevan todos los canales de diferente frecuencia a su potencia original, sin tener en cuenta su esquema de modulación o velocidad. Esta transparencia de los EDFA al formato de codificación de la señal, permite aumentar la capacidad de transmisión de los enlaces existentes sin modificar el enlace submarino, sino tan sólo las estaciones transmisora y receptora. Los cables TAT 12/13, (TAT, Transatlantic Telephone), empezaron a funcionar en 1996 con una capacidad de 10 Gbit/s cada uno. La compañía TYCO Submarine Systems ha aumentado la capacidad del enlace utilizando señales con dos longitudes de onda diferentes, y ya planea utilizar tres longitudes de onda.

Actualmente, hay unos 500.000 km de cables de fibra óptica intercontinentales submarinos, que soportan la inmensa mayoría de las comunicaciones intercontinentales. Está planeado que antes del año 2003 se doble esta cifra, con una inversión prevista de decenas de billones de pesetas. Los enlaces por fibra óptica intercontinentales submarinos tiene típicamente varios miles de km de longitud (6000 km en los enlaces Europa - EEUU), algunos centenares de amplificadores ópticos de unos 10 dB de ganancia colocados cada 40-50 km, y son depositados sobre el fondo del océano por grandes barcos especializados. Son diseñados para que tengan una vida útil de unos 25 años, aunque algunos ya han alargado su vida mucho más, y para que como máximo, una sola vez en toda la vida útil del cable, un barco deba salir a reparar algún tramo del cable debido al fallo de alguno de sus componentes. La Tasa de Error, es decir, el número de bits erróneos recibidos, no ha de superar, en media, uno por cada mil millones de bits enviados. Este nivel es lo que se acepta, normalmente, como transmisión sin error. En el caso del TAT 12/13, y del proyecto Oxígeno, la existencia de diversas rutas hace que, en caso de un fallo en una de las rutas, la señal pueda viajar por una ruta alternativa, asegurando así a los usuarios una disponibilidad prácticamente total de la red durante su vida útil.

UNA AVENTURA DE 150 AÑOS

El proyecto Oxígeno, así como otros proyectos tan ambiciosos como el de la Compañía Teledesic, que pretende construir una 'Internet en el Cielo', desplegando 288 satélites alrededor de la Tierra a 1.375 km de altura, constituyen un nuevo episodio de la aventura que empezó hace más de 150 años, con la invención del telégrafo. Pero la idea de un mundo conectado por cables que puedan llevar cualquier información a cualquier persona en cualquier parte es tan antigua como la idea de utilizar señales electromagnéticas para transmitir información. Samuel Morse, uno de los inventores del telégrafo, al comparecer en los primeros años de la década de 1840 ante el Congreso de los Estados Unidos para solicitar fondos con los que hacer un demostración pública de su invento, manifestó que:

'...it would be not long where the whole surface of this country would be channelled for those nerves which are to diffuse, with the speed of thought, a knowledge of all that is ocurring throughtout the land; making, in fact, one neighbourhood of the whole country.'

Y Grahan Bell, en 1876, dos años después de que inventara el teléfono, escribió a un grupo de inversores británicos una carta realmente profética:

'The simple and inexpensive nature of the Telephone....renders it possible to connect every man's house, office or manufactory with a Central Station so as to give him the benefit of direct telephonic communication with his neighbours at a cost not greater than that incurred for gas or water.

At the present time we have a perfect network of gas-pipes and water-pipes throughout our large cities. We have the main pipes laid under the streets communicating by side pipes with the various dwellings enabling the inmates to draw their supplies of gas and water from a commom source.

In a similar manner it is conceivable that cables of telephonic wires could be laid underground or suspended overhead communicating by branch wires with private dwellings, Counting Houses, shops, Manufactories etc., etc., uniting them through the main Cable with a Central Office where the wires could be connected together as desired establishing direct communication between any two places in the city. Such a plan as this thought impracticable at the present moment will, I firmly believe, be the outcome

of the introdution of the telephone to the public Not only so, but I believe that in the future wires will unite the head offices of Telephone Companies in different cities and a man in one part of the country may communicate by word of mouth with another at a distant place.

I am aware that such ideas may appear to you Utopian...Believing, however, as I do such scheme will be the ultimate result of the introduction of the telephone to the public, I would impress upon you all the advisability of keeping this end in view that all present arragements of the telephone may eventually be utilized in this grand system.'

En Ciencia y Tecnología, las predicciones a largo término son vanas, pues es difícil anticipar lo desconocido. Pero, afortunadamente, suelen equivocarse a la baja porque son ingenuas a la hora de valorar la enorme capacidad de creación y desarrollo de la Ciencia, y el enorme potencial de la Tecnología que generan. En diversos periodos de la historia moderna, se ha pensado que cualquier desarrollo científico o tecnológico posterior no cambiaría de manera notable la realidad conocida. Y sucesivas veces, esa predicción ha sido incorrecta. La Fotónica tiene potencial para transmitir y controlar señales que contienen decenas de billones de bits por segundo y que viajan distancias prácticamente ilimitadas. La luz está haciendo realidad las ideas de Samuel Morse y Graham Bell, pero no para un país sino para toda la Tierra, y no sólo para trasmitir conversaciones telefónicas, sino para transmitir cantidades ingentes de información de cualquier naturaleza.

NOTAS Y REFERENCIAS

[1] La empresa CTR Group Ltd., responsable del proyecto Oxígeno, ofrece información detallada sobre el proyecto en la dirección de Internet www.oxygen.org.

[2] Diversas empresas de todo el mundo se dedican a construir y extender cables de fibra óptica submarinos por todo el mundo. Algunas de ellas son Alcatel Submarine Networks (www.alcatel.com/telecom/snd), KDD Submarine Cable Systems (www.kddscs.co.jp), Tyco Submarine Systems (www.submarinesystems.com/tsst), y Pirelli (www.Pirelli.com). Recientemente, Tyco Submarine systems ha adquirido otra de las grandes empresas del sector, ATT.

[3] Existen diversas revistas de información general y divulgación, generalmente mensuales, relacionadas con las tecnologías de la luz y sus aplicaciones a Sistemas de Comunicación. Algunas de ellas son Photonics Spectra, Laser Focus World, FibreSystem, Optics and Photonics News, OptoLaser Europe y Optoelectronics World. IEEE Spectrum trata temas relacionados con la Óptica y la Fotónica frecuentemente.

[4] IEEE Communications Magazine presenta en su número de Febrero de 1996 una serie de artículos sobre enlaces por fibra óptica submarinos titulado 'Global undersea communication networks' (pág. 20). En él se describen las principales características técnicas de algunos de estos enlaces.

[5] 'Key Technologies for the 21th Century' es un número especial de la revista Scientific American (Septiembre 1995) dedicado a imaginar que nos espera en el próximo siglo, a partir de lo que ahora sabemos. Uno de los artículos trata sobre Sistemas de Comunicación Totalmente Ópticos (Vincent W.S. Chan, pág. 56).

[6] 'The Rise of the Network Society' (Manuel Castells, Blackwell Publishers, vol. 1, 1996). En este libro, este profesor de la Universidad de California en Berkeley describe la dinámica social y económica de la nueva Era de la Información.

[7] 'Information Highways and Byways: From the Telegraph to the 21st Century' (IEEE Press, 1995) es un excelente libro escrito por Irvin Lebow sobre la evolución de las comunicaciones desde la invención del telégrafo hasta la actualidad.

[8] 'Big, Bold and Expensive' (IEEE Spectrum, Enero 1994, pág. 19) describe 6 Mega-proyectos en diversas áreas de la Ciencia y Tecnología, que tienen en común su gran tamaño, coste y la aventura que representan. Los proyectos son: el Boeing 777, FLAG, la Estación Espacial Internacional, el túnel Gotthard bajo los Alpes, el Aeropuerto Internacional de Honk-Kong y las Torres Gemelas de Kuala Lumpur.

[9] La revista Bussiness Week presta atención frecuentemente a cuestiones científicas y tecnológicas, y su influencia en la Economía y la Sociedad. Recientemente, dedicó un número especial (Agosto 24-31, 1998) a este tema titulado 'The 21th Century Economy'.

[10] Existen diversas organizaciones de científicos e ingenieros que se dedican a temas relacionados con la Óptica y la Fotónica. Las dos principales son la Optical Society of America (OSA) y el IEEE Lasers and Electro-Optic Society.

SHORT PULSE LASER SOURCES FOR OPTICAL TIME DOMAIN MULTIPLEXING

Alex Torres[1], Marcella Carissimi[2], Isabel Queiroz[3]

[1]*Universitat Politècnica de Catalunya, ator@ieee.org*
[2]*Politecnico di Milano, marciell@yahoo.com*
[3]*Faculdade de Ciências e Tecnologia de Coimbra, nadja@condor.ci.uc.pt*

1. INTRODUCTION

One of the main goals in optical communication research consists in enlarging the transmission capacity of the established optical links. But provided that changing the currently installed fiber optic cables involves huge expenses, efforts are concentrated on increasing the capacity of these cables by means of multiplexing techniques.

Just as in electrical communications, there are two basic methods for optical multiplexing, namely frequency and time division multiplexing. Frequency multiplexing in the optical range is commonly known as Wavelength Division Multiplexing (WDM) and it consists in launching several lasers of different wavelength into the same fiber, each of them modulated according to a different electrical signal. On the other hand, Optical Time Division Multiplexing (OTDM) combines several lasers of the same wavelength using a pulse modulation with Return to Zero (RZ) for each and introducing proper delays between the pulses to avoid time overlap, interleaving the pulses in a time slot.

Each of these techniques alone can give very high transmission rates in the order of the tens or hundreds of gigabits per second. Furthermore, both multiplexing methods are compatible and experiments have been made where their combined use has achieved transmission rates in the order of terabits per second, showing the amazing possibilities for future development in this field.

For further reference about multiplexing in optical communication systems see:

- SPIRIT, D.M. and O'MAHONY, M.J.: *High Capacity Optical Transmission Explained.* Wiley, 1995.
- AGRAWAL, G.P.: *Fiber-Optic Communication Systems.* Wiley, 1997.
- SENIOR, J.M.: *Optical Fiber Communications.* Prentice-Hall, 1985.

2. OUTLINE

The authors of this article were working for two weeks at the Department of Electromagnetic Systems of the Danish Technical University (DTU) under the supervision of Henrik Poulsen, Anders Clausen and Alvaro Buxens, in the context of a summer course organized by the Board of European Students of Technology (BEST) in August 1998. Our main objective was the creation of short laser pulses for OTDM applications. The shorter the pulses, the larger the number of them which can be multiplexed in a given period of time and therefore the higher the transmission rate, fixed the information contained in each pulse (one bit for the usual two-level transmission).

Our experimental work developed according to the following steps:

- Characterization of the distributed feedback (DFB) laser diode.
- Pulse compression.
- Transmission over Dispersion Shifted Fiber (DSF) and Standard Single-Mode Fiber (SSMF).
- Multiplexing of pulses for OTDM transmission.

3. CHARACTERIZATION OF DFB LASER DIODE

We worked with a new DFB laser diode manufactured by France Telecom/CNET model 668.5/4G2 with a nominal wavelength of 1551.3 nm at 25°C and a physical length of 160 μm.

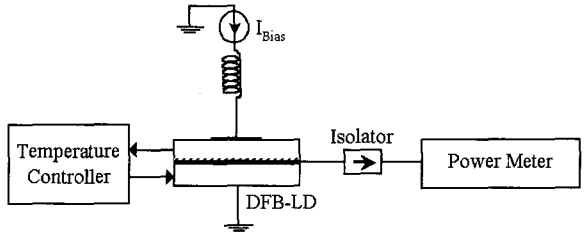


Figure 1. Experimental setup for static characterization.

The first step was a static characterization of the laser, studying its behaviour under continuous bias current obtaining a CW light, using the experimental setup shown in figure 1.

We mesured the optical power at the output of the laser for different values of the bias current at the input (figure 2a). We saw that the output power begins increasing when the bias current surpasses the threshold at about 4 mA.

We also studied the changes in the laser wavelength under temperature variation (figure 2b): we observed a linear dependency between both magnitudes that allowed a tuning range of about 0.9 nm for temperatures from 20 to 30°C. We choose a working temperature of 20°C that gave us an output wavelength of 1550.9 nm.

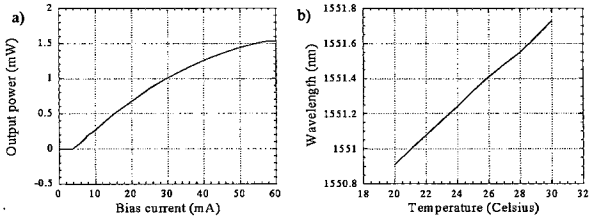


Figure 2. a) Output power versus bias current. b) Output wavelength versus temperature.

The next step consisted in adding a 10 GHz sinusoidal signal to the bias current at the laser input and studying the optical output by means of a 32 GHz photodiode connected to a 40 GHz sampling oscilloscope (figure 3).

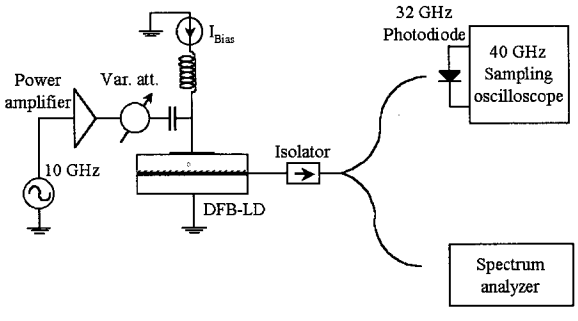


Figure 3. Experimental setup for dynamic characterization.

In this way we obtained an amplitude modulation in the laser. However, because of the non-linear response of this device, the output showed a pulsed rather than sinusoidal profile, as seen figure 4.

We minimized the pulse width using the optimum relation between the amplitude of the modulator signal and the bias current. After doing this we obtained pulses with a Full Width Half Maximum (FWHM) of 23.4 ps.

Here we observed for the first time a side effect that would be the key for our further experiments. When

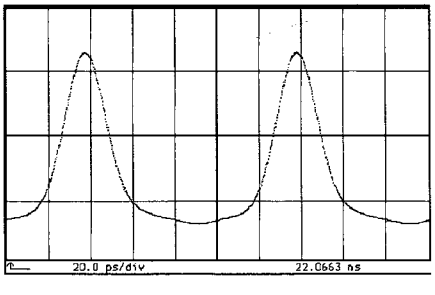


Figure 4. Output optical signal (FWHM=23.4 ps)

modulated in amplitude, a laser diode undergoes small changes in carrier density, which alter the refractive index of the resonant cavity and so the laser wavelength. Hence, the amplitude modulation of the laser involves also an optical frequency modulation, commonly known as chirp.

As the frequency shift was too fast for the spectrum analyzer to detect, what we saw on the screen was only a broadening of the peak around the central carrier frequency (figure 5).

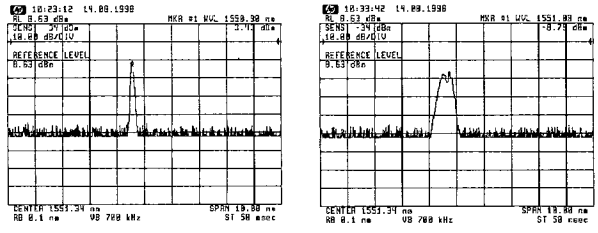


Figure 5. Laser spectrum before and after modulation.

4. PULSE COMPRESSION

Our next goal was to reduce the width of the output pulses, and we did it taking advantage of their chirp. Because of this effect, the laser wavelength at the beginning of the pulse (positive slope) is shorter than at the end (negative slope). Therefore, if we inject the pulse into a fiber which propagates long wavelengths faster than short, both slopes will get closer and the pulses will be narrower. As figure 6 shows, this behaviour of the group delay (t) corresponds to negative dispersion (D) fibers, that is, optical fibers with dispersion less than 0 ps/nm/km at the usual working wavelength of ~1550 nm.

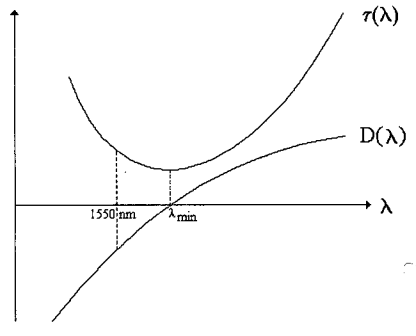


Figure 6. Dispersion and group delay in a compression fiber.

We had to find the proper value for the dispersion of the compression fiber, since an excess in its absolute value would have resulted in the short wavelength advancing the long ones and broadening the pulses again. After trying different fibers we chose one with a dispersion of -21.6 ps/nm, which gave pulses with a FWHM of 17.67 ps (figure 7). So, we achieved a compression of more than 6 ps, as well as a significant increase in extinction ratio (power difference between the peak and the base of each pulse).

However, mesurement of such narrow pulses cannot be very accurate when taken with a 40 GHz oscilloscope using a 32 GHz photodiode. So, we substituted the scope by a streak camera, which is a CCD-based liquid-cooled device connected to a computer, which allows more precise mesurements. According to them, our pulses had in fact a FWHM of only 10 ps (figure 8).

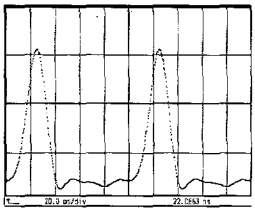


Figure 7. Output signal after compression (FWHM=17.67 ps).

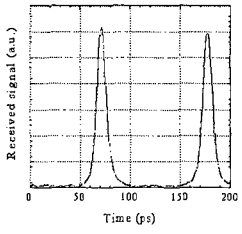


Figure 8. Compressed pulses mesured with the streak camera (FWHM=10 ps).

5. PULSE TRANSMISSION

Initially, we transmitted over Dispersion Shifted Fiber (DSF), which is fiber with its zero dispersion wavelength around 1550 nm. This allowed us to transmit over 22 km of fiber without observing any significant pulse broadening. This indicates that much longer distances are possible, and this has also been experimentally verified.

This was repeated with Standard Single-Mode Fiber (SSMF), which the vast majority of the already installed fiber infrastructure is based on. Standard fibers have the zero dispersion wavelength around 1300 nm, and therefore they have a large positive dispersion at 1550 nm (figure 9), and as a result the pulse width increases quickly during transmission.

After transmitting over 4 km of SSMF, our 17.67 ps wide pulses broadened until reaching a FWHM of 64.8 ps (figure 10a). However, we can compensate this effect of the SSMF by connecting it to a fiber with opposite dispersion, that is, a negative dispersion fiber (figure 6), usually called Dispersion Compensating Fiber (DCF) when used for this purpose. We tried several DCF's and we finally choosed one with a dispersion value of -42.8 ps/nm, which allowed us to achieve an almost perfect compensation, as we obtained at its output pulses only 15.0 ps wide (figure 10b).

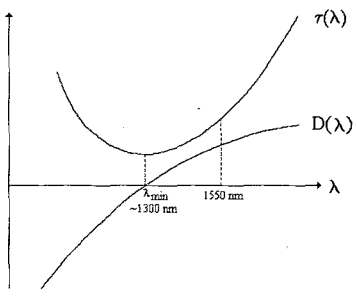


Figure 9. Dispersion and group delay in a SSMF.

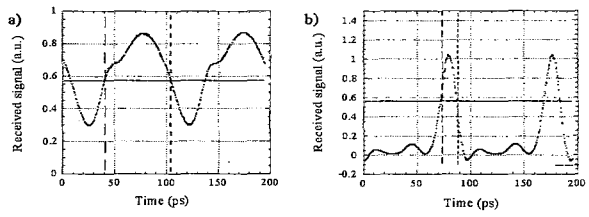


Figure 10. a) Received pulses before compensation (FWHM=64.8 ps). b) Received pulses after compensation (FWHM=15.0 ps).

6. PULSE MULTIPLEXING

In order to obtain an OTDM signal, we first inject a 10 GHz RF signal in a Gain-Switched DFB laser to obtain RZ optical pulses, which we compress to a FWHM of 10 ps. Then, if we want to obtain a 20 Gb/s multiplexed signal, the pulses are split into 2 channels (of 10 Gb/s each) and they are injected into an external modulator (e.g. a Mach-Zehnder electro-optic $LnNbO_3$ modulator), which is modulated with a data signal to transfer the information ('0' and '1') of this signal to the RZ pulses. Each channel is time-delayed half a bit-period and multiplexed, hereby bit-interleaving the channels. This process can be expanded to more channels, and finally the multiplexed signal is injected into the fiber.

In our experiment, we did not have acces to a modulator, so the compressed pulses were just multiplexed in time (bit-interleaved) without modulation. In this case we simply generate two optical pulsed signals, compress the pulses and delay one of the signals half a bit-period before multiplexing and injecting both signals together into the same fiber. In this way we have a pulse of one of the signals between each two pulses of the other one and equidistant to them. Thus, the multiplexed signal has a period half of the original at the expense of reducing the space between pulses. Furthermore, if the pulses are narrow enough, we can iterate the process and mix two of these multiplexed signals (with two channels each) to obtain a four-channel time-multiplexed signal. And we can go on doubling the number of channels until the overlapping of the pulses makes impossible to distinguish them, giving as a result a deteriorated output signal.

For experimental purpose we used the same laser for all channels (passive multiplexing). Then each of the multiplexing stages consisted in a 3-dB coupler (which splits the signal from one fiber into two with half the power in each), a half period delay in one of the two output branches, and another 3-dB coupler to rejoin both signals (figure 11).

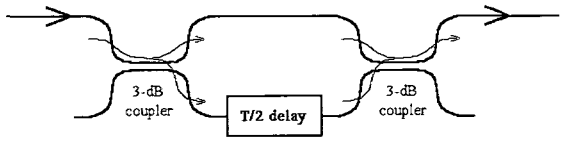


Figure 11. Passive optical multiplexer.

In our first experiment we used only one multiplexing stage, and we obtained pulses at 20GHz, a frequency double of the 10 GHz signal at the input of the multiplexer. As pulses were still clearly separated, we added another stage to get a 40 GHz multiplexed signal (figure 12a). It looked very irregular but it was because of the bandwidth limitation of the oscilloscope, since its appearance substantially improved when we measured it with the streak camera (figure 12b).

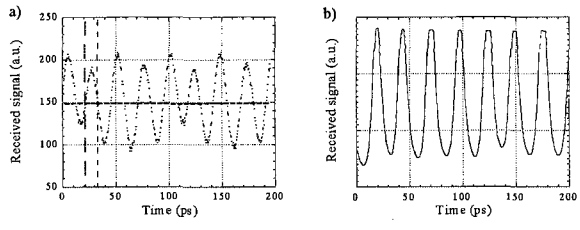


Figure 12. 40 GHz OTDM signal as seen with a) the oscilloscope and b) the streak camera.

So, we added still another multiplexing stage (figure 13) in order to obtain an 80 GHz OTDM signal. Thus, if we had put one bit of information in each pulse (using an OTDM transmitter with an external modulator as explained before) we would have obtained the astonishing transmission rate of 80 Gb/s, divided in 8 channels of 10 Gb/s each. To have an idea of the magnitude of these figures, we could have eight simultaneous users transmitting each all the information contained in the Encyclopaedia Britannica every second!

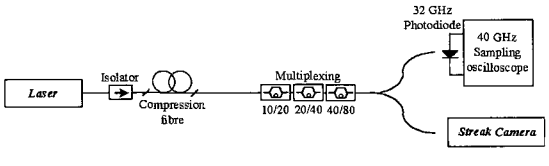


Figure 13. Experimental setup for 80 GHz OTDM signal generation.

The 80 GHz signal (figure 14) was already too irregular to multiplex it again. The problem lay on an imprecise delay in the third multiplexing stage. Furthermore the pulses were too broad, as their FWHM of 10 ps was larger than the 6.25 ps time-slot of a 160 Gb/s transmission. In order to further increase the number of time-multiplexed channels (and so the transmission rate), the multiplexer stages should be very precise, and even more narrow pulses should be obtained.

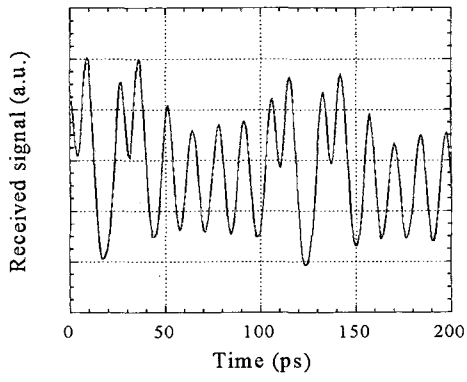


Figure 14. 80 GHz OTDM signal as seen with the streak camera.

7. CONCLUSION

When characterising the laser diode under modulation we have found a certain chirp on it, and we have used it to compress the output pulses from a width of 23.4 ps to only 10 ps.

But we have also seen the pulse broadening caused by this chirp when transmitting over standard fiber. However, we have found a solution for this problem consisting either in using dispersion shifted fiber or in adding a dispersion compensating fiber after the standard fiber.

Finally we have taken advantage of the small width of the output pulses to multiplex as many as 8 channels in an 80 GHz OTDM signal.

Anders Clausen, Henrik Poulsen and Alvaro Buxens are researchers from the COM Center (Center for Communications, Optics and Materials, http://www.com.dtu.dk) at the Technical University of Denmark (http://www.dtu.dk). This university has over many years been doing world-class research in different areas of optical communication techniques for high bandwidth systems, and a large Danish industry has evolved from these research activities. The COM Centre is a new research center that will continue this positive development and take over the research activities of the former Center for Broadband Telecommunications, at the Department of Electromagnetic Systems (http://www.emi.dtu.dk/research/cbt), and the Photonics Group at the Department for Electromagnetic Systems (http://www.mic.dtu.dk/mic/research/photonic.htm). If you are interested in further information on the possibilities of doing projects or studying courses in the field of optical communications please contact via email Alvaro Buxens (aba@emi.dtu.dk) or Henrik Poulsen (hnp@com.dtu.dk).

PARALELIZACIÓN DE ALGORITMO SAR MEDIANTE EL MÉTODO DE MEMORIA COMPARTIDA. (PROYECTO PARSAR)

Mariano Wis Gil
Proyectista del departamento de Teoría de la Señal y Comunicación
wis@voltor.upc.es
mariano.wis@upcnet.upc.es

1. INTRODUCCIÓN

El SAR (Synthetic Aperture Radar o Radar de Apertura Sintética) es un sistema de obtención del mapa de reflectividades electromagnéticas de una determinada zona (de 100 km x 100 km) a muy alta resolución (entre 3 y 4 metros) mediante el barrido a base de pulsos de Radar emitidos según un determinado periodo. Cada uno de los pulsos reflejados es recibido, digitalizado (en fase y cuadratura) y almacenado, formando lo que se denomina el *raw data file*. Para poder interpretar la imagen, es necesario realizar un procesado del *raw data* (el procesado SAR), el cual tiene un coste computacional apreciable.

En una *workstation* de una única CPU (el clásico PC) el procesador SAR puede tardar en ejecutarse horas e incluso días. Esto es debido, por un lado, a que el volumen de datos a tratar es muy elevado (1 Gbyte en floats); por otro lado, el procesado SAR suele utilizar FFTs y productos entre complejos, que son operaciones que tienen un coste computacional elevado. Un tiempo de procesado tan elevado es una gran desventaja, sobretodo para ciertas aplicaciones que han de ejecutarse en tiempo real.

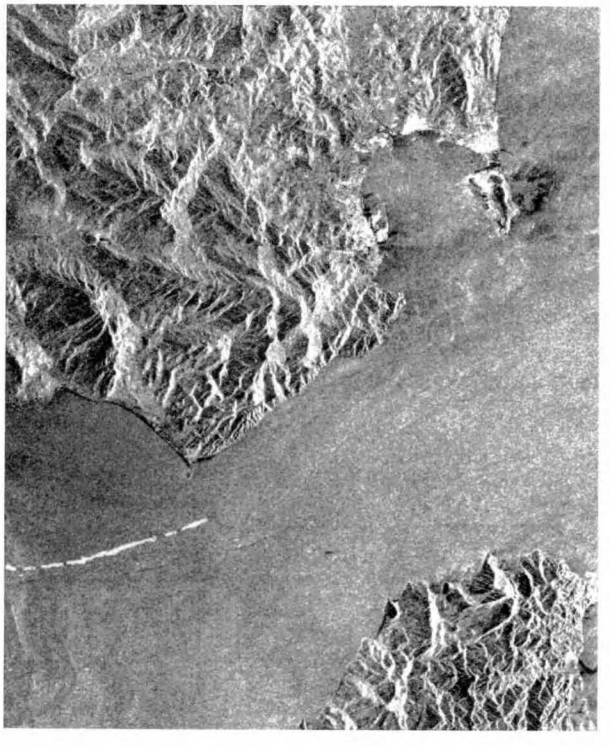


Figura 1. Ejemplo de imagen SAR de alta resolución. La imagen representa un vertido contaminante (trazo claro) sobre el mar. Ésta es una aplicación en la que se justifica el tiempo real para poder identificar en el menor tiempo posible la fuente del vertido.

Para solucionar estos problemas se debe trabajar el desarrollo del procesador en dos direcciones. La primera es dividir el *raw data file* en bloques, de manera que se logra adaptar el procesado a cualquier clase de hardware. La segunda dirección de desarrollo es adaptar el procesador a una máquina de procesado en paralelo, para que el procesador SAR sea ejecutado en el menor tiempo posible entre varias CPUs.

2. PROYECTO PARSAR

La resolución de la problemática forma parte de un proyecto realizado por el departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones (TSC) de la ETS de Telecomunicaciones de Barcelona (UPC) en el que se pretende paralelizar un procesador SAR (proyecto PARSAR) basado en el CSA (Chirp Scaling Algorithm). Uno de los objetivos de este proyecto es el poder conseguir unos tiempos de procesado que se acerquen a los requerimientos de tiempo real (sobre los 5 minutos).

Dentro del marco de este proyecto, la UPC desarrolló para INDRA la versión paralelizada de un procesador CSA, suministrado por esta compañía, utilizando el método de paso de mensajes mediante librerías PVM (más adelante se explica en que consiste) y aplicado sobre un cluster de workstations. Como continuación del proyecto, el departamento de TSC decidió desarrollar la paralelización mediante la utilización de otro método (memoria compartida) con el fin de realizar una comparación de ambas técnicas. La paralelización mediante este segundo método es lo que se relata en este artículo.

Para el desarrollo de esta segunda etapa del proyecto, se dispone de un procesador CSA desarrollado por el departamento de TSC, que es en el que se va a implementar el paralelismo. Como hardware se utiliza una Origin 2000 de Silicon Graphics (con 64 CPUs y 8 Gbytes de RAM) y que está mantenida por el CEPBA (Centro Europeo de Paralelismo de BArcelona), que forma parte de la UPC.

3. EL SAR

Ya se ha comentado que el sistema SAR ha de recibir unos ecos reflejados en el terreno a explorar. La recepción de estos pulsos es equivalente a tener una agrupación de antenas con tantos elementos como pulsos se hayan enviado durante la duración de la apertura sintética (véase la Figura 2). Así, los pulsos que forman la apertura se han de sumar en fase para poder obtener el efecto equivalente a un aumento de la directividad de la agrupación de antenas y, por tanto, una mayor resolución en el eje de desplazamiento de la antena (llamado eje azimuth). Este efecto suma de fases, se puede lograr de una manera eficiente mediante el uso de un procesador SAR adecuado.

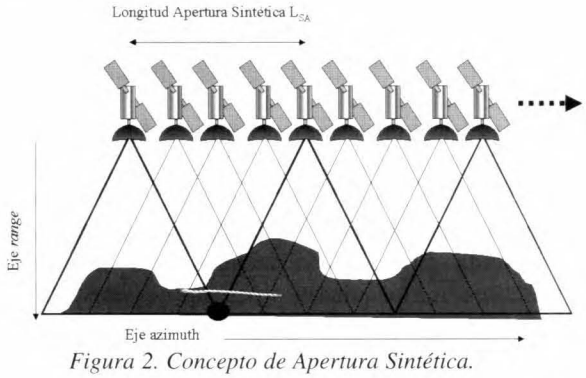


Figura 2. Concepto de Apertura Sintética.

Estos procesadores toman el *raw data* como si fuese la respuesta impulsional del sistema radar para cada uno de los puntos del terreno observado, de manera que la función del procesador es equivalente a realizar la comprensión de cada una de las respuestas impulsionales. Debe tenerse en cuenta que esta respuesta impulsional es bidimensional y variante en el eje range, por lo que el funcionamiento de estos procesadores es más complejo de lo que puede parecer en un principio.

Debe advertirse que la imagen de salida tiene un tamaño algo menor que el *raw data* de entrada, ya que los márgenes de los datos procesados han de considerarse como los residuos de las convoluciones de cada una de las respuestas impulsionales. Por tanto, estos márgenes se eliminan de la imagen final.

Uno de estos procesadores es el CSA (Chirp Scaling Algorithm), que reduce el procesado SAR a una serie de FFTs y productos por funciones de referencia, tal como puede verse en la Figura 3, y que se caracteriza por realizar una ecualización de la varianza en el eje range, lo que facilita el trabajo en las etapas posteriores. En la figura se puede observar las transformaciones que sufre el *raw data* a medida que pasa por cada una de las etapas.

4. PROCESADO POR BLOQUES.

Consiste en dividir el fichero *raw data* en bloques de manera que cada uno de los bloques se procesa como si fuese una imagen independiente de las demás. Debe tenerse en cuenta el efecto de los datos marginales; por

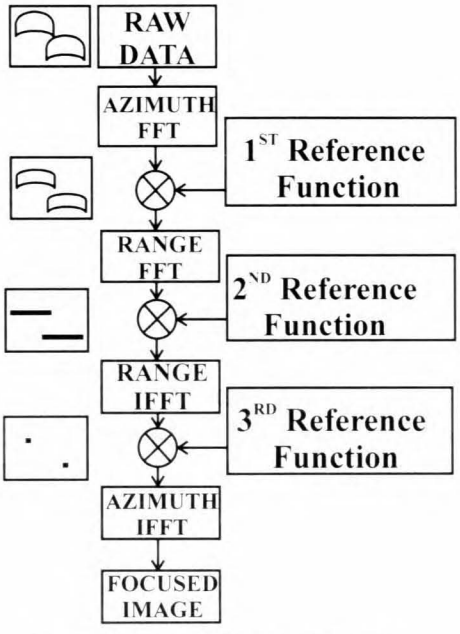


Figura 3. Estructura básica del CSA.

esta razón, cada uno de los bloques ha de tomar datos que corresponden a los bloques vecinos. Esta técnica se llama solapado de bloques y ha de tenerse en cuenta si no se desea que la imagen final aparezca con discontinuidades (véase la Figura 4). Por tanto, al bloque procesado se le deben eliminar los datos marginales antes de ser ubicado en la posición que le corresponde.

Al realizar el procesado por bloques, se logra adaptar el algoritmo al tamaño de la memoria de cualquier clase de hardware. Además, se consigue una adecuación a la caché de los grandes ordenadores, obteniéndose unos rendimientos muy elevados en la ejecución del programa.

Hay que hacer una observación acerca del tamaño del bloque. Este se define por las dimensiones que el bloque ha de tener en el eje azimuth (que como referencia corresponde al eje vertical) y en el eje range (que corresponde al eje horizontal y representa el eje perpendicular a la dirección de desplazamiento del radar, que en este caso corresponde con la dirección de propagación de la señal).

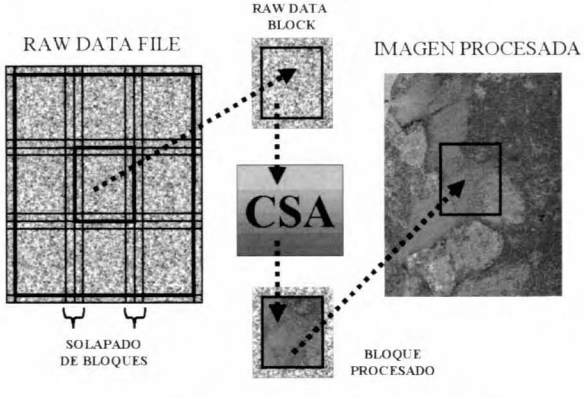


Figura 4. Procesado por bloques solapados.

5. PARALELIZACIÓN DE PROGRAMAS

La razón por la que se paralelizan los programas es la de lograr una reducción del tiempo de ejecución mediante la división del trabajo entre varias CPUs. Idealmente, un algoritmo que se ejecuta en 40 minutos con una única CPU, debería tardar 5 minutos si se utilizasen 8 CPUs. Sin embargo, esto es algo que ocurre en muy pocas ocasiones.

La razón principal es que casi todos programas tienen unas operaciones críticas que han de ejecutarse concurrentemente, es decir, sólo una CPU a la vez, como por ejemplo las operaciones de E/S con ficheros. Además, al comenzar la ejecución del programa, siempre se inicia con una CPU, que será la encargada de abrir y cerrar el paralelismo. La apertura y cierre del paralelismo, también son unos procesos que consumen un tiempo determinado (llamado *parallel overhead*) y que limitan las posibilidades de conseguir una paralelización ideal.

Por tanto, a medida que aumenta el número de procesadores, y debido a la presencia de esas partes de código que se ejecutan en una CPU, se llega a ver que la evolución del tiempo tiene un comportamiento asintótico, indicando que no se puede reducir más el tiempo de procesado (como ejemplo, véase la Figura 5).

Un parámetro muy útil que permite realizar la evaluación del paralelismo es el **Speed-Up** (S(p)), el cual se define según la siguiente ecuación:

$$S(p) = \frac{T(1)}{T(p)} \qquad (1)$$

Donde: T(1) es el tiempo de ejecución de un programa con una única CPU y T(p) es el tiempo de ejecución para p CPUs. El Speed-Up da una idea de cual es el número equivalente de CPUs que se está utilizando si se supone que la paralelización es ideal. Cuanto más pequeño sea este número en comparación con el número real de CPUs utilizados, peor es la paralelización. Así en el caso de paralelización ideal, el Speed-Up coincide con el número real de procesadores. También presenta un comportamiento asintótico, debido a las partes ejecutadas con una CPU, cuando aumenta el número de procesadores utilizados (véase Figura 6).

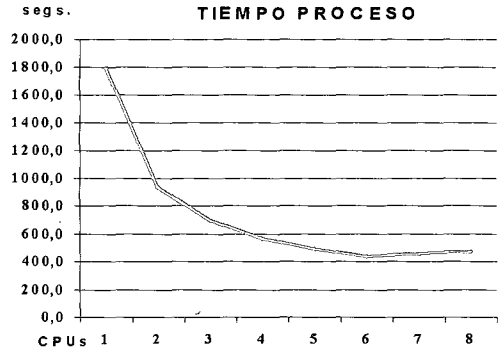


Figura 5. Evolución del tiempo de proceso.

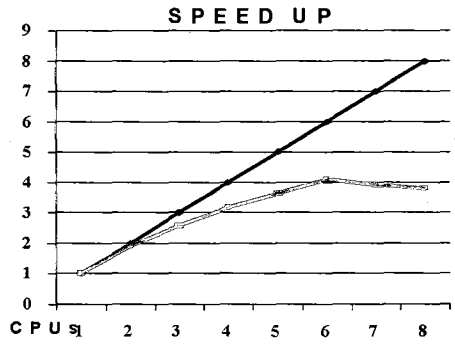


Figura 6. Evolución del Speed-Up.

A partir del Speed-Up, es posible estimar que porción de código en tiempo de ejecución ha sido paralelizada. Este dato se puede conocer gracias a la **Ley de Amdahl**, la cual se observa en la Figura 7 y en la siguiente ecuación:

$$F = \frac{p}{p-1} \cdot \frac{S(p)-1}{S(p)} \cdot 100[\%] \qquad (2)$$

Donde S(p) es el Speed-Up para p procesadores.

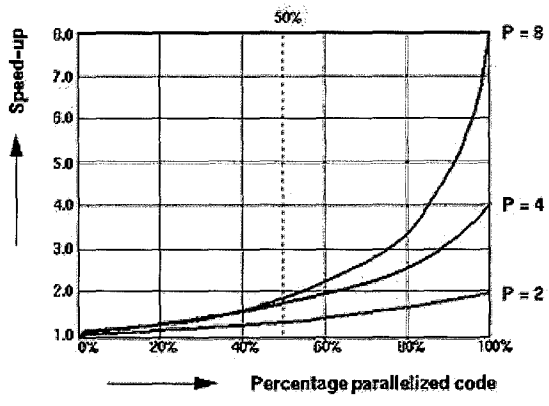


Figura 7. Ley de Amdahl.

Debe recalcarse que lo que se obtiene es el código paralelizado en tiempo de ejecución, no a la proporción del espacio que ocupa esa porción de código en todo el programa. Por ejemplo, la región paralelizada puede tratarse de un simple bucle que ocupa una pequeña porción en el programa, pero en el que corresponda al 90% del tiempo de ejecución de todo el programa cuando se ejecuta con una sola CPU.

Otro parámetro bastante útil para evaluar la paralelización es la **eficiencia**, cuya expresión se puede ver en la siguiente ecuación:

$$E(p) = \frac{S(p)}{p} \qquad (3)$$

Donde S(p) es el Speed-Up para p procesadores. La eficiencia es una medida del rendimiento conseguido con

la paralelización. Debido a su relación directa con el Speed-Up, también presenta el comportamiento asintótico a medida que aumenta el número de CPUs utilizados. Cuando la paralelización es ideal, la eficiencia ha de ser 1, tal como se ve en la Figura 8.

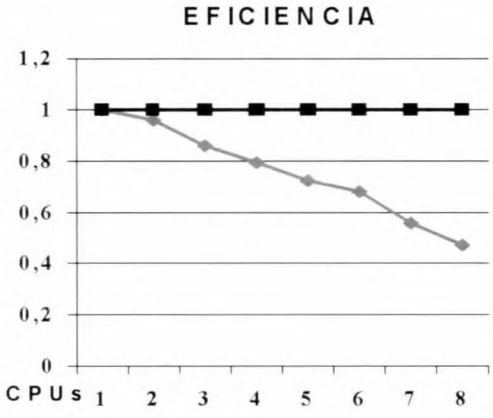


Figura 8. Evolución de la eficiencia.

En algunas ocasiones puede llegar a ocurrir que la eficiencia sea mayor que uno. Cuando esto ocurre, se dice que se tiene un caso de superescalabilidad. Ocurre en muy extrañas ocasiones con programas que están muy bien paralelizados, debido a que ha aumentado la cantidad total de la caché utilizada.

5.1. Arquitecturas Paralelas

Básicamente existen dos tipos básicos de arquitecturas, que se diferencian entre sí en cómo se estructura el sistema de memoria.

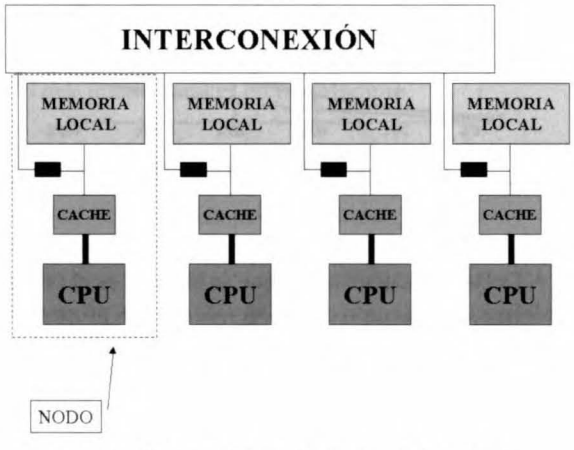


Figura 9. Arquitectura de memoria distribuida.

El primer tipo de arquitectura es el de **memoria distribuida**. Éste se caracteriza por distribuir la memoria total del sistema entre todas las CPUs que lo forman. Así el conjunto formado por memoria RAM, caché y CPU definen el concepto de nodo, que es el elemento básico de este tipo de estructura.

El sistema de interconexión entre los distintos nodos puede ser una simple red *Ethernet*, o un sistema dedicado como un conmutador *crossbar*. El caso más clásico de sistema de memoria distribuida es un conjunto de *workstations* conectados mediante una red local. Programar en un sistema de este tipo exige realizar el control de un gran número de operaciones de coordinación entre las distintas CPUs, por lo que su programación no resulta simple. Otra característica es que las memorias trabajan independientemente entre sí, por tanto, un dato contenido en la memoria de un nodo, no necesita ser conocido en otro nodo una vez que el paralelismo se ha establecido.

El segundo tipo de arquitectura es el de **memoria compartida**. En este caso, hay un único sistema de memoria que es compartido por todas las CPUs. Desaparece el concepto de nodo y lo único que se distribuye entre las CPUs es el sistema de memoria caché que le corresponde a cada procesador.

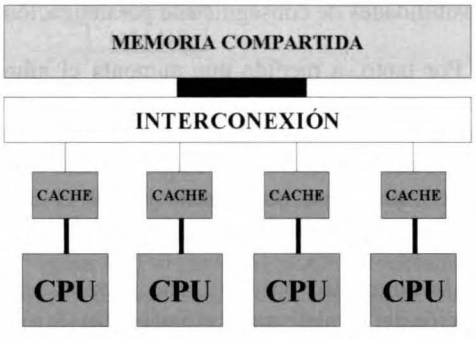


Figura 10. Sistema de memoria compartida.

El sistema de interconexión puede ser también un único bus o un sistema de conmutación. La ventaja de este sistema es que su programación suele ser más sencilla que en el caso anterior, ya que no han de tenerse en cuenta tantos detalles. El sistema debe asegurar también la coherencia de la caché, es decir, que si se comparte una variable entre varias CPUs, se debe asegurar que su valor será el mismo para todos los procesadores y en la memoria compartida. La principal desventaja de este sistema es que si el número de CPUs es elevado, puede haber un cuello de botella en el límite del ancho de banda de la interconexión, lo que va en detrimento de la escalabilidad.

Existe un tercer tipo de arquitectura que es una mezcla de las dos anteriores. Esta es la arquitectura de **memoria compartida-distribuida**. En esta estructura, la memoria está realmente distribuida, sin embargo, gracias al hardware utilizado, el sistema funciona como una arquitectura de memoria compartida. La base del sistema es un HUB o conmutador que se utiliza en cada uno de los nodos (véase la Figura 11, donde la configuración de 64 CPUs mostrada se llama topología en hipercubo). En este caso el nodo corresponde a un conjunto de memoria local, 2 CPUs (con sendos sistemas de memoria caché) y el HUB. Por otro lado los nodos se interconectan entre sí mediante Routers, siendo estos routers los que realizan la interconexión mediante un múltiple sistema de buses.

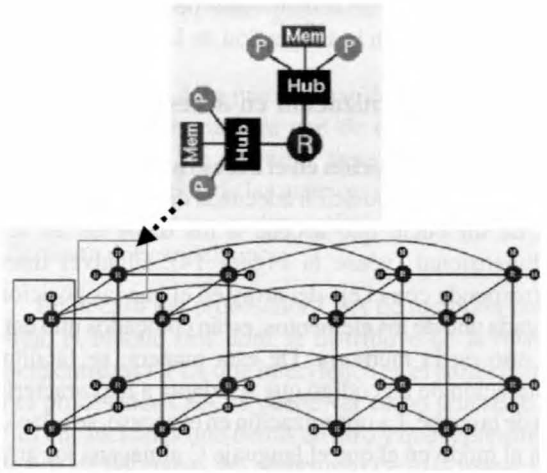


Figura 11. Arquitectura de memoria compartida-distribuida.

Este sistema tiene todas las ventajas del sistema de memoria compartida, además, resuelve el problema del límite del ancho de banda del bus de interconexión, ya que la interconexión se utiliza entre varios buses, no uno solo. Por esta razón también se le llama arquitectura de **memoria compartida-escalable**. Este último tipo de arquitectura es el utilizado por la Origin 2000.

5.2. Modelos de programación en paralelo

Los modelos de programación son los métodos utilizados para realizar la paralelización de los programas. La utilización de uno u otro dependerá del hardware disponible, de la complejidad del algoritmo, del nivel de paralelización deseado, la estructura de los datos a procesar, etcétera. Además, cada modelo está asociado a uno de los tipos de arquitecturas comentados anteriormente.

5.2.1. Paso de mensajes

Existen dos modelos básicos de paralelización. El primero es el modelo de **paso de mensajes** el cual se asocia a la arquitectura de memoria distribuida. Básicamente consiste en asignar una serie de datos a cada una de las CPUs y procesarlos de manera independiente entre sí. Desde el punto de vista del procesado CSA, es como si se asignase un bloque a cada una de las CPUs (véase Figura 12).

Cada uno de los trazos discontinuos representa una CPU asignada. Así se observa que con este modelo de programación, ha de existir un proceso padre que coordine el trabajo de cada uno de los hijos, que son los que realizan el procesado. Por tanto, su implementación será compleja, ya que se deben tener en cuenta un gran número de factores. No obstante, la paralelización que se puede lograr es muy buena si se utilizan pocas CPUs, ya que se puede aplicar el paralelismo a todo el algoritmo (paralelización de grano grueso). Si se utilizan muchas CPUs, puede llegar a darse el caso de que los parámetros de evaluación (speed-up y eficiencia) empeoren debido a que ciertos recursos se utilizan concurrentemente y los procesadores han de esperar a que estos recursos estén libres para poder utilizarlos. Este tiempo de espera será mayor cuanto mayor sea el número de CPUs.

La programación en el modelo de paso de mensajes está estandarizada gracias al uso de librerías especificas creadas a tal efecto. Las más utilizadas son las Message Passing Interface (MPI) o las Parallel Virtual Machine (PVM, que fue utilizado en el desarrollo para INDRA) que permiten crear un código que se puede utilizar en

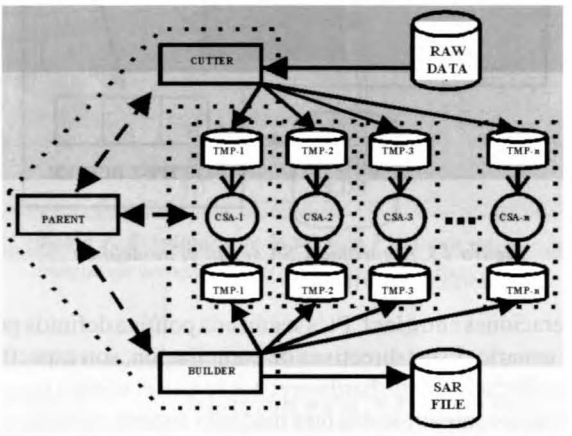


Figura 12. Procesador CSA según el modelo de paso de mensajes.

cualquier clase de hardware, ya sea un *cluster* de *workstations*, o una arquitectura paralela como la O2000.

5.2.2. Memoria Compartida

El otro método de paralelización que se suele utilizar es el de **memoria compartida** (correspondiente con la arquitectura del mismo nombre y que es el utilizado en la segunda parte del proyecto PARSAR), el cual consiste en compartir los datos entre todas las CPUs que intervienen en el paralelismo. Desde el punto de vista del procesador CSA, es como si se compartiese el mismo bloque entre todas las CPUs (véase la Figura 13).

Este modelo es más sencillo de implementar, ya que se suele aplicar a nivel de bucle (las partes que más tiempo consumen) y no a todo al algoritmo. Por esta razón se le llama también paralelización de grano fino. El problema con este tipo de paralelización es que el paralelismo se puede acabar abriendo y cerrando muchas veces (una por cada bloque) lo que puede llegar a provocar pequeños retrasos (*parallel overhead*). No obstante cuando se utiliza un número elevado de CPUs, y si el paralelismo está bien implementado, los resultados obtenidos son muy buenos.

La implementación práctica de este modelo se realiza mediante directivas de compilación (pragmas) que indican que bucles se desean paralelizar. Al ejecutar el programa, se crean tantas copias del código del bucle como CPUs se hayan especificado y se distribuyen las

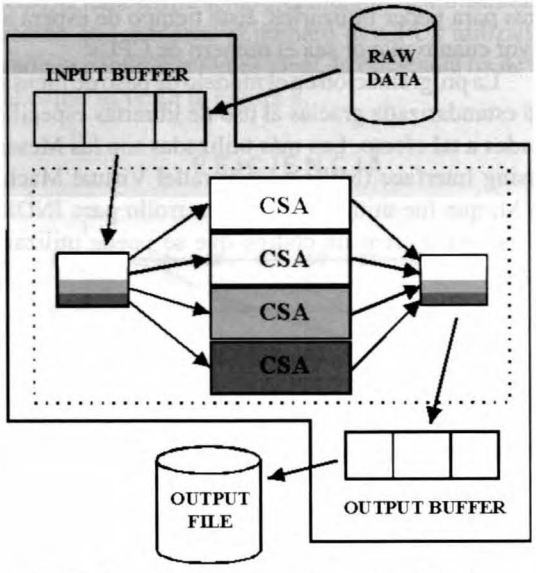


Figura 13. Algoritmo CSA según el modelo de memoria compartida.

iteraciones entre las CPUs según una política definida por el usuario. Estas directivas de compilación, son específicas de cada tipo de hardware, por lo que el código fuente no será compatible con otra máquina distinta. Sin embargo, se están haciendo esfuerzos para conseguir un sistema estándar que permita la paralelización mediante memoria compartida.

6. ASPECTOS TÉCNICOS

El desarrollo del paralelismo según el modelo de memoria compartida, se ha concentrado básicamente en tres aspectos: adaptación a la memoria caché, optimización del acceso a los bucles y mejoras en el acceso a disco.

6.1. Uso de la caché

La **memoria caché** es un sistema de memoria intermedia que actúa como intermediario entre los registros de la CPU y la memoria RAM. Su presencia se justifica en que es un tipo de memoria muy rápida aunque su tamaño suele ser muy limitado debido a su alto coste. Debe añadirse también que suele estar estructurada en dos niveles (L1 y L2). Al copiar los datos que necesita la CPU de la RAM a la caché, el acceso a estos datos es más rápido. No obstante, para lograr un rendimiento elevado, hay que evitar una renovación demasiado continuada de los datos contenidos en la caché, ya que esto requiere un tiempo determinado que se refleja en una pérdida de rendimiento del procesado.

Normalmente es el compilador quien se encarga de hacer la optimización del uso de la caché mediante la reutilización de los datos contenidos en ella. Sin embargo, habrá más posibilidades de que el compilador genere un código óptimo si el programador aplica una serie de técnicas en el acceso a los datos (Loop Fission, Loop Fussion, Loop Interchange, etcétera). Así mismo determinadas distribuciones de datos pueden hacer que el tiempo de procesado aumente más de lo esperado debido a un problema con la adaptación de los datos a la caché.

6.2. Optimización en acceso a bucles

La **optimización en el acceso a los bucles** se logra mediante una disposición adecuada de los distintos niveles de un bucle que accede a los datos de un array bidimensional (véase la Figura 14). El nivel interno corresponde con el eje del array en el que las posiciones de cada uno de los elementos, están colocados uno detrás de otro en la memoria. De esta manera, se facilita la generación de un código que se adapta a las características de la caché. La optimización en el acceso, se relaciona con el modo en el que el lenguaje C almacena los arrays bidimensionales. Así las posiciones en el eje horizontal, se colocan una detrás de otra en la memoria.

Con la optimización en el acceso, también se facilita la paralelización del bucle. Lo más usual es paralelizar el bucle en el nivel más externo. De esta manera, se abre y se cierra el paralelismo un menor número de veces, lo que reduce el *overhead*. Pero también se logra una distribución óptima del array entre las memorias de las CPUs. Debe recordarse que la O2000 tiene sus memorias distribuidas entre nodos. Por lo que si se logra una distribución correcta del array entre cada uno de los nodos, el volumen de datos a transferir entre nodos será pequeño, lo que reducirá la latencia por acceso a datos.

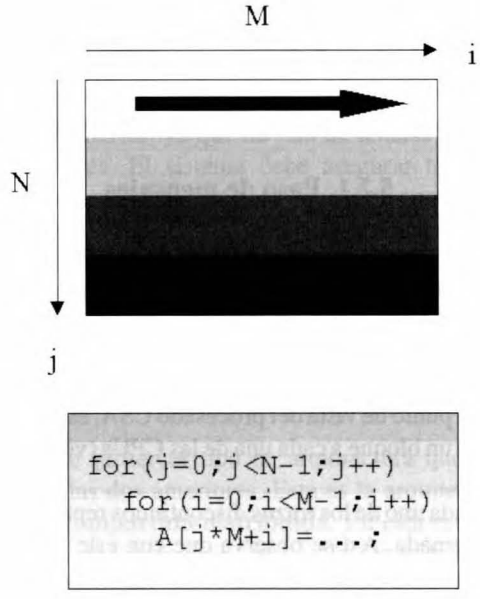


Figura 14. Acceso óptimo a bucles.

Como ejemplo de cómo se distribuyen los datos de manera óptima, hay que observar la Figura 14. Al distribuir las iteraciones del bucle externo, las primeras N/4 iteraciones se asignan a la primera CPU, las siguientes N/4 a otra CPU y así sucesivamente. Para que los datos correspondan con las iteraciones, Las primeras N/4 líneas han de almacenarse en la memoria de la primera CPU, Las

segundas N/4 líneas a la memoria de la misma CPU a la que se asignó el segundo grupo de N/4 líneas y así sucesivamente.

El usuario no debe preocuparse de realizar la distribución de las memorias, ya que de eso se encarga el sistema operativo. Sin embargo, tiene la posibilidad de realizar la distribución de las matrices del modo que crea más conveniente para poder optimizar al máximo el rendimiento del paralelismo.

En el caso del procesador CSA de memoria compartida, el bloque *raw data* se distribuye de la misma manera entre las CPUs que intervienen en el paralelismo. Así el procesador CSA se puede ver como una serie de bucles encadenados uno detrás de otro y que representan cada una de las etapas del algoritmo. De esta manera se pueden paralelizar todos estos bucles dentro de la misma zona paralela, de manera que se abre y se cierra el paralelismo una vez por cada bloque.

6.3. Acceso a ficheros

El último aspecto a observar es el de la **optimización de acceso a ficheros**, es decir, cómo mejorar el modo en el que se hace la lectura de los bloques del fichero *raw data*. El *raw data file* se forma acumulando cada uno de los ecos recibidos en el fichero; por tanto, si se desea hacer una lectura de un bloque, los datos de éste no están colocados en posiciones continuas en el fichero. Esto significa que el cabezal de lectura ha de realizar un número elevado de movimientos, lo que provoca un retraso en la lectura/escritura y, por tanto, una pérdida de rendimiento.

Este problema se resuelve mediante el uso de buffers de entrada/salida (véase la Figura 13). Cuando se hace la lectura del fichero de *raw data*, se leen líneas completas, tantas como tamaño en el eje vertical (eje azimuth) vaya a tener el bloque. Estas líneas se almacenan en el buffer, del cual se tomarán los bloques que se deseen procesar. Una vez que el bloque ha sido procesado, estos se almacenan en el buffer de salida, que se escribirá en el fichero de salida una vez que se ha terminado de procesar todos los bloques del buffer de entrada. Si se desean procesar más bloques, hay que llenar de nuevo el buffer de entrada y tomar los bloques de este buffer.

De esta manera se logra reducir el número de operaciones de E/S del disco, que suele estar compartido entre múltiples usuarios, y hacer una lectura más continua, por lo que el tiempo total invertido en lectura/escritura se reduce. Además, al tener los buffers el mismo tamaño en el eje vertical que el bloque, puede llegar a tener la misma distribución entre CPUs.

7. RESULTADOS

En este apartado se muestran los resultados obtenidos con las dos versiones del procesador CSA paralelizado (con paso de mensajes en PVM y memoria compartida). En los dos casos la ejecución se ha realizado en la Origin2000 y han obtenido como salida una imagen con formato SLC (resolución de entre 3 y 4 metros, formato I+Q, y distorsión geográfica debida al plano de proyección). Todos los tiempos de proceso están en segundos.

Inicialmente se muestran los resultados obtenidos por el programa en paso de mensajes en la Tabla 1.

# CPUs	BL 4096 x 4096
3	1476,9
4	731,2
5	634,3
6	395,9
7	362,9
8	305,0
9	309,3
10	302,0

Tabla 1. Resultados de la versión PVM con un bloque de tamaño 4096(azimuth)X4096(range).

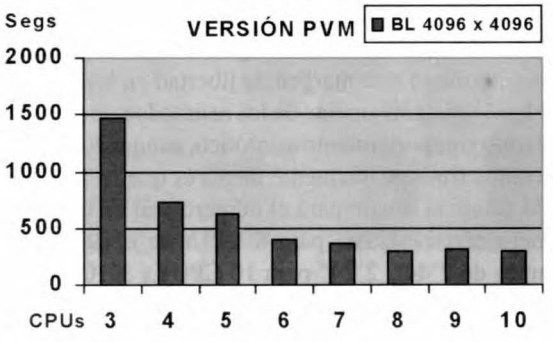


Figura 15. Evolución del tiempo de proceso en la versión PVM.

La razón por la que no se da el resultado para 1 y 2 CPUs es debido a que en la versión PVM cuando se dice que realice el procesado con 1 procesador, quiere decir que es un hijo el que realiza el procesado CSA. En la versión PVM son necesarios un proceso padre que coordina las tareas de los hijos, un esclavo que ha de realizar la gestión de los bloques, y los hijos que realizan el procesado CSA. Por esta razón aunque sea una CPU la que lleva a cabo el procesado SAR, realmente se están utilizando 3. De los resultados se observa el comportamiento asintótico descrito anteriormente: a partir de 8 CPUs el tiempo de proceso se mantiene. Así mismo se puede ver que para 10 CPUs (aunque el número efectivo de procesadores es 8) el tiempo de proceso es de unos 5 minutos en esta prueba, aunque se debe decir que se han llegado a obtener tiempos de proceso de 3 minutos y medio con esta misma versión.

En el caso de la versión en memoria compartida (llamada versión 6.2) se han obtenido los siguientes resultados que se pueden ver en la Tabla 2.

# CPUs	TIEMPO PROCESO	SPEED UP	EFICIENCIA
1	1097,4	1,00	1,00
2	531,8	2,06	1,03
3	391,5	2,80	0,93
4	295,7	3,71	0,93
5	250,3	4,38	0,88
6	209,4	5,24	0,87
7	186,8	5,87	0,84
8	164,8	6,66	0,83
9	148,0	7,42	0,82
10	144,2	7,61	0,76
16	99,9	10,98	0,69
32	70,1	15,65	0,49

Tabla 2. Resultados para la versión de memoria compartida (versión 6.2) con un bloque de tamaño 4000(azimuth)X4096(range).

Se observa que el tamaño de bloque es muy similar, pero no es el mismo. Esto se debe a que si en la versión de memoria compartida se escoge una dimensión en azimuth exclusivamente en base 2, se produce un problema de adaptación de los datos a la caché que aumenta el tiempo de ejecución de una manera dramática. El modo de resolverlo es escogiendo en este eje un tamaño que no sea exclusivamente de base 2 pero que sea múltiplo de 2, 3 y 5. Esta condición es debida a que las rutinas FFTs utilizadas en la versión de memoria compartida (no en la versión PVM) se basan en el algoritmo de Singleton, las cuales permiten este margen de libertad en los tamaños. Hablando exclusivamente de los resultados, se puede ver el mismo comportamiento asintótico, aunque los tiempos obtenidos son sensiblemente menores que en la versión PVM (tanto si se compara el número real de CPUs o el número efectivo). Así para 8 CPUs se obtienen unos tiempos de 2'44", 2'24" para 10 CPUs y 1'10" para 32 CPUs (con otros tamaños de bloque ha sido justo de 1'). En cuanto a la eficiencia obtenida, para 8 CPUs es del 83%, algo que se puede considerar un éxito. Así mismo, estima que el grado de paralelización en tiempo de ejecución es de un 80%-90% según la Ley de Amdahl.

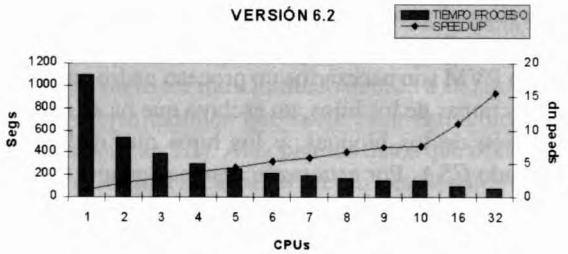


Figura 16. Evolución de Tiempo de proceso y Speed-Up para versión 6.2

La notable mejoría del modelo de memoria compartida con respecto del método basado en PVM es que ha hecho un gran esfuerzo en adaptar el algoritmo a la arquitectura de la Origin2000 en el sentido de optimizar el uso de la caché. También ha influido mucho el hecho de utilizar los buffers de entrada/salida que minimizan el uso del disco y que, además, se leen/escriben fuera de la zona paralela (véase la Figura 13) por lo que no se da el problema de concurrencia. Por otro lado hay que decir que la versión de paso de mensajes se desarrolló en un *cluster* de *workstations* utilizando PVM y después se adaptó directamente a la Origin2000.

8. CONCLUSIONES

En ambos casos, se ha logrado cumplir el compromiso de tener un procesado completo de imágenes en menos de 5 minutos, lo que las habilita para las aplicaciones donde el tiempo real es un requisito.

Asímismo se observa que la versión de memoria compartida es sensiblemente más rápida que la versión de paso de mensajes, sin que por ello se deba excluir este segundo método. De hecho una futura línea de desarrollo puede ser realizar una versión del algoritmo utilizando el modelo de programación híbrido (combinación de los dos métodos del que se espera que el rendimiento sea algo mejor).

Otra futura líneas de desarrollo pueden ser que la de aplicar la paralelización de memoria compartida de este proyecto a nuevas variantes del CSA como el CSA extended que actualmente está en desarrollo en el departamento de TSC de la UPC.

9. AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al CEPBA (Centro Europeo de Paralelismo de BArcelona) su colaboración prestada durante la paralelización y utlización de su SGI Origin2000. La Unión Europea, bajo la Parallel Computing Initiative II del ESPRIT, ha financiado el proyecto PARSAR

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] C. Elachi, "Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques". Editorial Board, 1987.

[2] D. Ritchie, B. Kernighan, "El Lenguaje de Programación C". 2ª edición. Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana, 1991.

[3] R Keith Raney, H.Runge, R. Bamler, Ian G. Cumming, Frank H. Wong "Precission SAR Processing Using Chirp Scaling"; IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, VOL 32, Nº 4, julio de 1994, pags 786-799.

EN INTERNET:

[4] Silicon Graphics Technical Publications, "Performance Tuning Optimization for ORIGIN2000 and ONYX2". [En línea]. Página Web, URL: *http://techpubs.sgi.com/library/dynaweb_bin/0640/bin/nph-dynaweb.cgi/dynaweb/SGI_Developer/OptOrig/@Generic__BookView*

[5] NASA, "THE NASA/JPL IMAGING RADAR HOME PAGE".[En línea], Página Web, URL: *http://southport.jpl.nasa.gov/*

PASEO A TRAVÉS DE LA HISTORIA. EGIPTO, UNA CIVILIZACIÓN PARA LA ETERNIDAD.

Mª Cristina Escobar Labella

Ingeniera de Telecomunicación por la UPC y doctorante por la UPM

1.-COSMOGONÍA EGIPCIA. LA ENÉADA.

Al principio era La Nada. No existía el tiempo ni el espacio. El Silencio lo envolvía todo con un manto invisible y se hacía omnipresente. Era la Noche Eterna de la Vida. Se trataba del vacío mas desolador que jamás existió. La consciencia no estaba tan siquiera en el mas remoto sueño de los dioses que vendrían.

El océano primigenio, *Noon*, lo envolvía todo con sus aguas. Las olas eran el único movimiento existente que lo engullía todo. Su espuma cabalgaba juguetona a sus anchas sobre el azul profundo de Noon dándole un toque blanquecino.

Entonces se estremeció la tierra de manera violenta y comenzó a elevarse entre grandes estruendos en forma de enorme montaña piramidal. Así nacía *Tatanen*. A su vez, en la cumbre, lentamente, en el primer amanecer del mundo una tenue luz rosada acariciaba la montaña sagrada y mostraba tímidamente su enorme círculo de fuego. Fue cuando surgió ***Atom***, el gran disco solar. Era el principio de la luz y del tiempo. La vida comenzaba así sus primeros balbuceos.

Atom, el primer dios a pesar de ser la encarnación del Todo quiso tener descendencia. Bebió de su masa germinal y al estornudar dio lugar a ***Shu***, que seria dios del aire. También escupió y entonces nació ***Tefnut***, diosa de la humedad.

Shu y *Tefnut* se sintieron solos y decidieron tener a ***Geb***, la tierra y a ***Nut***, el cielo para que pudieran abrazarse eternamente.

Al igual que Geb en forma de afanoso escarabajo iba haciendo su pelota desde el amanecer hasta alcanzar su máximo tamaño al mediodía. Atom, el sol naciente se transformaba en Ra, el sol del mediodía. A partir de aquí iba decreciendo hasta convertirse en el sol poniente que sería engullido por Nut, la noche, el cielo nocturno que todo lo abarca. Sus brazos abiertos y su cuerpecito alargado tenían la misión de devolver al sol cada mañana al amanecer para que volviera a reinar sobre cuanto existía.

De éstos nacieron cuatro hermanos gemelos. Por un lado ***Osiris*** y ***Neftis*** y por otro ***Isis*** y ***Set***. El destino desposó a Osiris con Isis y a Neftis con Set.

Así fueron apareciendo las estrellas y los dioses que las encarnan. Surgió *Anubis*, el chacal; ***Tueris***, la hipopótama; *Bastet*, la gata que enfurecida se transformaba en *Sekmet*, la leona; *Tot*, el ibis acompañado a la vez por sus babuinos; *Khnum*, el carnero, *Sobek*, el cocodrilo, *Maat*, la justicia y, por fin, la vaca celeste ***Hator***.

Pirámides de Keops y Kefrén

Eran todos muy felices y vivían en armonía hasta que irrumpió la envidia. Osiris era tan bueno, generoso y amable que despertó los celos de su hermano Set. Entonces éste le tendió una trampa.

Estaban todos los dioses y diosas en una fiesta de máscaras cada cual con la careta del animal que representaba cuando Set anunció alegremente un nuevo juego. Había hecho construir un hermoso sarcófago y el juego consistía en que fueran entrando uno por uno en él para ver quién cabría perfectamente.

El malvado Set que había tomado las medidas de su hermano cerró violentamente el sarcófago cuando se introdujo Osiris en él y lo lanzó a las aguas del Mediterráneo. Los dioses sorprendidos por tan cruel comportamiento no pudieron reaccionar ante el temor hacia Set y así fueron castigados a llevar por siempre la cabeza de animal.

Su amada esposa, Isis, al enterarse de tal desgracia le comenzó a buscar, pero no sabía ni hacia dónde dirigir sus pasos. Su corazón le mandó al alto Egipto. Tanto lloró que sus lágrimas se convirtieron en las crecidas del Nilo que anegaban las tierras llenándolas de limo cada año.

El sarcófago de Osiris, el primer muerto del mundo, llegó flotando hasta Biblos, en Fenicia y de su cuerpo surgió otro en forma de árbol de tal belleza que cautivó al rey de aquellas tierras. Este lo mandó trasladar a su palacio donde lo guardaba como su mayor tesoro. Desde entonces el color de Osiris sería el verde, color de la regeneración natural..

Un pájaro le contó a Isis lo ocurrido y ésta emprendió el viaje en busca de su marido. Se hizo pasar por sirvienta en la corte del rey de aquel país lejano y cogió los restos de su amado para esconderlos en el delta del Nilo.

No acabarían aquí las desdichas de Isis puesto que Set, no conforme con haber usurpado el poder de Dios principal a su hermano, lo descuartizó en catorce pedazos y los esparció a lo largo del Nilo.

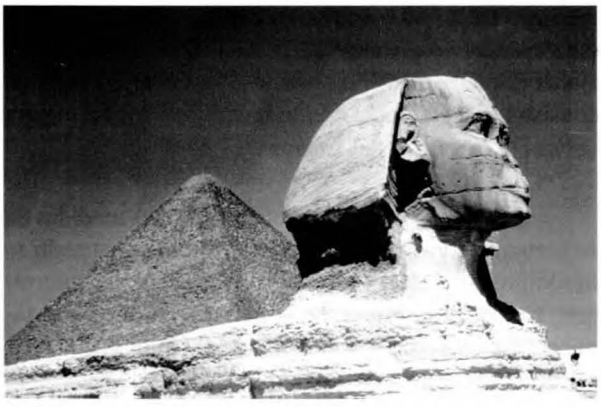
Entonces Neftis, hermana de Isis, apesadumbrada por tanto dolor la ayudó a recomponer a Osiris pedazo tras pedazo uniéndolos con unas vendas. Al final los hallaron todos salvo el falo. Isis le hizo uno de barro y así pudo recomponer todo su cuerpo para que viviera eternamente como Dios de los Muertos.

Así fue como Isis, al resucitar por siempre a Osiris pudo concebir a *Horus*, que sería el dios del Sol.

Horus vivió su niñez escondido de su tío Set con el firme propósito de vengar la muerte de su padre y retomar el lugar que le correspondía. Eso sería tiempo después cuando tras una brutal lucha mató por fin a Set pasando a ser el dios entre los dioses, el sol.

2.-BREVE HISTORIA DE EGIPTO

La historia antigua de Egipto dura aproximadamente tres mil años. Durante todo este período Egipto fue



La eterna guardiana de las pirámides la esfinge

gobernado por faraones. El cargo de faraón no sólo implicaba un poder absoluto sino que era la representación de Osiris en la Tierra de los vivos. Este cargo pasaba de padres a hijos pero algunas veces la sucesión se rompía por diversas causas. En ese momento los historiadores hablan de un cambio de *dinastía*. Hubo 30 dinastías. La primera empieza con el primer faraón que reinó sobre todo Egipto y la última termina con Cleopatra.

En esta larga historia hubo tres períodos de esplendor tanto militar como cultural. Estos momentos se conocen como *imperios* y para distinguirlos se habla de Imperio Antiguo, Imperio Medio e Imperio Nuevo.

Hemos de pensar que el Imperio Antiguo es coincidente en el tiempo con las primeras civilizaciones como la sumeria, las del valle del río Indo o las de la cuenca del río Amarillo.

Dos focos culturales brillaron con luz propia durante todos estos años: las ciudades de Menfis y Tebas.

Menfis fue la capital de Egipto durante gran parte de su historia por su posición estratégica en la frontera de las dos zonas en que se dividía el país: al norte el delta del Nilo también llamado Bajo Egipto. Al sur un inmenso cauce de más de 600 Km. de río navegable o lo que se conoce como el Alto Egipto.

Pocos kilómetros al oeste se encontraba la necrópolis de Menfis conocida hoy como Saqqara.

Tebas estaba en el centro del Alto Egipto. De ella surgieron las dinastías que fundaron los imperios Medio y Nuevo.

3.-CULTURA FUNERARIA

Si algo ha llegado a impresionarnos de esta gran civilización son sus monumentos funerarios. Cabe decir que éstos fueron cambiando al mismo tiempo que su filosofía de la vida.

En las primeras dinastías sus tumbas eran sencillos nichos en tierra con apenas adornos. Mas tarde se pasó a las mastabas que eran habitaciones rectangulares que recordaban a una "banqueta" que es lo que significa esta palabra en árabe. Para los egipcios en cambio, era el "castillo del *ka*".

Este pueblo creía que el hombre se componía de tres partes: el cuerpo o *akh*, el alma o *ba* y el *ka*. El *akh* era la representación de la fuerza divina. El *ba* tomaba la forma de ave con cabeza humana que recorría la tumba y el *ka* era la fuerza vital con la que se reunía tras la muerte dándole la vida eterna.

El hecho de morir consistía en transmigrar a su *ka*, el representante de la personalidad. Era preciso conservar el cuerpo para que el *ka* pudiese volver a tomar posesión de él. De ahí podemos comprender los complicados procesos de la momificación para que el cuerpo permaneciera intacto...

La pirámide de Teti

El muerto tras tomar a su *ka* necesitaba también una casa, la tumba; alimentos que eran representados en las paredes decoradas de estas; muebles para el hogar eterno así como trabajadores que les hicieran las tareas en la vida de ultratumba. Estos se representaban en forma de pequeñas figurillas o *ushebtis* que encontraremos junto a las momias en todo nuestro paseo a través de la historia de Egipto.

Las piedras, si sabemos escucharlas, nos cuentan la historia constantemente. Como ejemplo, entremos en la mastaba de Mereruka, visir de Teti, en Saqqara...

La primera cuestión que nos surge al verla es cómo un simple gobernante tenía una mastaba inmensa de 31 salas mientras poco tiempo atrás sólo los faraones tenían derecho a ellas y eran mucho menores. Y es que el arte y la historia están íntimamente ligados...

Al final del Imperio Antiguo, la nobleza empezó a tomar tanta importancia que logró tener derecho a entierros similares a los de los faraones. Por contra, se enzarzaron en luchas entre sí por el poder. Así concluyó este primer imperio: con un período intermedio anterior al Imperio Nuevo donde no se puede hablar de faraones sino de anarquía.

Sin embargo, la llegada de Imhotep, el primer arquitecto conocido de la historia, trajo consigo la primera pirámide escalonada. Ideó para el faraón Zoser la que sería su última morada. Construyó seis mastabas superpuestas dando lugar a su famosa pirámide escalonada.

Cien años mas tarde las técnicas de construción evolucionaron. Se hicieron los escalones mas pequeños y numerosos, se rellenaron los huecos y en su cúspide se colocó una cobertura de metal. Así surgieron las verdaderas pirámides como las de Dahsur, Abusir y las mas conocidas de la meseta de Giza.

Paseando por Saqqara, en la zona mas septentrional, se produjo para mí un encuentro excepcional en la pirámide de Teti. Se trataba del primer libro de la historia, "*Los textos de las pirámides*". Estos textos narraban la guía de pautas a seguir por el difunto para pasar las distintas pruebas y con ello alcanzar junto a Osiris la vida de ultratumba.

Aunque apenas lograba comprender ninguno de aquellos garabatos jeroglíficos parecía que aquellas paredes nos hablaran desde hace 4500 años. De aquellos enormes bloques unidos en sillería sin argamasa alguna parecían manar aún las escenas del último juicio.

Se veía a *Tot*, sosteniendo la balanza con una pluma, la justicia, por un lado y el corazón del difunto por otro. Si el corazón pesaba mas que la pluma, *La Devoradora,* no tendría piedad. Si salía victorioso, el difunto podría sentarse por fin en la barca de *Ra*, el sol, e identificarse con él reinando finalmente sobre hombres y dioses desde el mas allá...

Si bien el exterior de esta pirámide parecía un pequeño montículo en medio del desierto, podía sentir *la Intemporalidad* a medida que descendía por aquel pasillo angosto y estrecho. De pronto apareció una antesala mas alta que el pasillo y ya pude ponerme en pie.

Había una habitación a cada lado. En la sala de la izquierda estaban los textos de las pirámides grabados en la caliza. Atravesando otro estrecho pasillo alcancé la sala de la derecha. Allí me impresionó ver una techumbre triangular repleta de las estrellas que simbolizaban la noche eterna sobre el sarcófago imponente en granito rosa del faraón.

Aunque todo el mundo conoce la última de las siete maravillas del mundo en pie, las tres pirámides de Giza, hay que destacar que en toda la orilla occidental desde el Delta hasta Dashur se pueden contabilizar mas de ochenta pirámides.

El Imperio Nuevo traería consigo nuevas modas y los egipcios excavarían sus tumbas en el desierto, siempre junto al sol poniente pero esto ya lo veremos mas adelante.

4.-LAS PIRÁMIDES DE SAQQARA.

Mientras me acerco a Saqqara no ceso de mirar llena de curiosidad en todas direcciones. Voy hacia el sur buscando la antigua necrópolis de Menfis, capital del *Imperio Antiguo*. El Nilo queda a mi izquierda bañando de vida una estrecha franja en las dos orillas. Las palmeras datileras nos acompañan a lo largo de todo el trayecto. Algún campesino lleva su carreta de búfalos por caminos

sin asfaltar. Un padre va con el pico al hombro mientras sus hijos van zurrando al asno. Las lavanderas están en la orilla afanosas. Un abuelo sobre su montura marcha sereno en dirección a los campos de labranza protegiendo en su pecho un tornillo de Arquímedes. Las chiquillas con blusas de vivos colores corren alegres hacia las "escuelas de alfombras". Pequeñas falúas surcan este canal del río...

Siento que la vida se ha detenido aquí desde tiempos inmemoriales. Las gentes apacibles y cansinas trabajan las mismas tierras que hace milenios. Sus unidades de medida son las mismas que antaño. Salvo por la desaparición de las crecidas del río, poco parece haber cambiado aquí desde que los faraones dirigían sus destinos.

De pronto la carretera tuerce hacia poniente y tengo ante mí 5000 años de historia. Me embarga una indescriptible sensación de eternidad. La visión me estremece...

Se trata de Tatanen, al igual que en el origen del cosmos surgía de la nada, ahora entre las arenas del desierto la veo aparecer. Todavía no ha amanecido aunque el alba empuja a Nut para que devuelva el sol como cada mañana...

Y es que me encuentro frente a la primera pirámide en piedra de la historia. Ante su ansia de eternidad este pueblo construyó edificios que les acercaran más al cielo, a ese mundo imperecedero del más allá.

Ante la visión me asaltan miles de incógnitas pero con mucho lo que mas me impresiona es que cuando en Europa se construyó Stoneghe, las pirámides o la esfinge tenían ya mas de mil años.

Es importante resaltar que en el Egipto del Imperio Antiguo había técnicas de arquitectura, astronomía o matemáticas que aún no han sido superadas así como conocimientos de ciencia y medicina bastante avanzados.

Si algo une a todos los pueblos del mundo es su aprecio y respeto profundo por sus antepasados aunque nunca civilización alguna ha venerado a los suyos como la egipcia. Para ellos la muerte era la continuación eterna de la vida, el lugar donde tras pasar las pruebas de bondad suficiente vivirían por siempre.

Me puedo imaginar a los sabios de la época observando a diario la tranquilidad monótona del sol saliendo por el lado este y poniéndose por el oeste. Así fue como asociaron la orilla oriental de su amado Nilo con la vida y monumentos gozosos mientras que la orilla de los muertos sería siempre el lado donde el sol daba sus últimos destellos.

Pero volvamos a nuestro paseo por Saqqara...

Camino lentamente, casi torpe, mirándolo todo llena de curiosidad entre las arenas del desierto líbico mientras me acerco a la pirámide escalonada del faraón Zoser. Parece increíble que esta edificación de casi 5000 años se mantenga tan firmemente levantada como desafiando al tiempo. Siento envidia: ¡qué no habrá presenciado esta maravilla!.

Puedo imaginarme a Imhotep con sus planos de papiro preocupado con sus quehaceres cabilando en la colocación precisa de cada bloque de piedra. De hecho es curioso recordar que cuando tenía su mastaba original completamente terminada la mandó derruir para así construir la primera estructura de piedra de grandes dimensiones en el mundo.

Cabe destacar que no sólo construyó sus mastabas superpuestas sino que también fue el artífice de todo el complejo funerario para este faraón. De hecho se trata de una enorme explanada llena de templos y esculturas fúnebres.

Pirámide de Keops

Camino en dirección norte bordeando la pirámide escalonada. A mi derecha el sol asciende lentamente en su devenir diario mientras yo ando absorta pensando en otros tiempos...

Es bonito sentir que estas piedras aún emanan la vida que transcurrió por estos andurriales. Puedes oír aún los pasos solemnes y graves de las procesiones de la festividad del *Heb-Sed,* de la unión entre el alto y el bajo Egipto. Mientras camino veo los templos del alto y del bajo Egipto que permanecen todavía en pie al lado del sol naciente.

Lo cierto es que desde que Narmer unificara ambas zonas cada faraón tenía el deber de conservar unido Egipto desde el delta del Nilo hasta Nubia, en el sur.

Mientras escucho las voces que el pasado ha dejado en estas ruinas se produce un encuentro singular. He alcanzado la cara norte de la pirámide y veo unos orificios a la altura de mis ojos en una especie de urna

cerrada de piedra caliza. Me acerco curiosa y veo al mismísimo Zoser. Su rostro resulta desagradable y enigmático. Si te fijas con detalle le faltan los ojos pero su expresión es grave y enfadada. Permanece sentado en su trono sosteniendo el mando y el látigo cruzados en su pecho como para desafiar a aquel que ose perturbar su sueño eterno...

Subo una pequeña colina al oeste sin perder de vista los seis niveles de la pirámide de Zoser y aún así no puedo superar su altura, y es que los faraones al convertirse en dioses a su muerte querían superar a la propia naturaleza para que nada les ensombreciera...

La visión es impresionante. Me siento vivir en la época del Imperio Antiguo. Si miro al norte primero veo las tres pirámides de Abusir cortando la monotonía del paisaje. Si dejo que mis ojos se relajen y ganen profundidad puedo ver en la lejanía a las tres hermanas de Giza entre la bruma del amanecer.

Una brisa suave me reclama hacia el sur y ante mí aparecen aún mas pirámides. Se trata de Unás, la más próxima aunque muy derruida y las de Dahsur, más alejadas. Me deleito mirando la pirámide roja, la mas alta, o la famosa torcida, con una inflexión en su inclinación hacia la mitad y aún una tercera y otras mas ya semiderriudas.

Una extraña sensación me invade. Siento que en lugar de arenas son las aguas de un mar con olas en forma de pirámides lo que tengo a mi alrededor...

5.- LAS PIRÁMIDES DE DASHUR.

Me desplazo al sur de Saqqara, en busca de las primeras verdaderas pirámides construidas por Snefru, padre de Keops. Estamos en pleno Imperio Antiguo.

Cuando llegué a los pies de la pirámide roja sentí algo muy especial. De pronto miré hacia arriba y me invadió ese ansia de búsqueda de lo eterno, de aquello que está por encima de nosotros y va mas allá. Ese edificio convergente en el cielo de caliza roja en medio del desierto parecía hablarnos desde el pasado. Me encontraba ante la pirámide mas antigua del mundo...

Su entrada no podía decepcionarme. Una angosta rampa descendente terminaba en una cámara amplia. Mirando hacia el techo, me impresionó su bóveda triangular de 15 metros de altura. Tras ella había un pasillo que llevaba a otra sala que sería igual de no ser por su abertura a la altura del techo que conducía por fin a la cámara funeraria.

La cámara funeraria parecía inacabada aunque la bóveda triangular era aún mas bonita y grande que las anteriores. Es curioso recordar que este faraón se construyó 3 pirámides en esta zona además de otras más pequeñas.

Desde la pirámide roja a no mucha distancia se observa con claridad un edificio curioso. Se trata de la pirámide torcida. Por su forma peculiar se supone que ésta era el definitivo monumento funerario del faraón. Se cree que cuando al faraón le quedaba poco tiempo de vida la acabaron rápidamente disminuyendo la inclinación.

6.- LA EXPLANADA DE GIZA.

Según narra una leyenda, un día un hombre jugando a ser dios unió en sus cuatro lados los cuatro elementos principales sin los cuales no seria posible la vida en la Tierra. Cuentan aún que Isis, el Amor, tomando Tierra, Aire, Agua y Fuego engendró las Pirámides de Egipto.

Si su unión es Osiris re-engendrado, la vida; su base es la divergencia, la muerte de Osiris al ser descuartizado por su hermano Set...

Anochece sobre Giza, el frío me sobrecoge pero no se si es la temperatura o la impresión de grandiosidad del espectáculo de luces que realza la belleza del entorno.

Al igual que las tres estrellas del cinturón de Orión, las pirámides aparecen al frente como desafiando al infinito mientras las luces juegan con ellas escondiéndolas o agrandándolas al tiempo que nos relatan sus orígenes y una música de fondo nos tansporta hasta los tiempos de su construcción.

Como si de un hipotético viajero en el tiempo me tratase, de pronto me estremece la idea de haberme detenido hacia el 2700 a.C., en pleno auge del Imperio Antiguo.

Veo construir la Gran Pirámide. Hay miles de obreros trabajando. Unos están en la cantera próxima sacando y tallando los bloques de caliza, otros los arrastran con cuerdas de cáñamo en una especie de trineos con troncos debajo a modo de rueda. Les ves ascender lentamente por las rampas mientras otros colocan con precisión cada bloque en su lugar...

Y es que estamos ante la primera gran obra de ingeniería en la historia. Todavía hay muchos misterios que rodean a la única Maravilla del Mundo en pie. De hecho el motivo de su construcción aunque es funerario parece muy ligado a la astronomía. La orientación de las caras a los cuatro puntos cardinales es casi perfecta. La cámara funeraria tiene dos conductos muy peculiares: uno apuntaba a *alpha draconnis* que era *su* estrella polar. El otro coincidía con Sirio, muy ligado a las crecidas del Nilo. Cuando Sirio dejaba de ser visible por la noche el Nilo crecía.

Si cierro los ojos aún me estremezco ante la visión de la Gran Pirámide. La entrada no puede dejar indiferente. Si te adentras en su interior recuerda agacharte bien, porque el camino es duro al igual que el último sendero del faraón en destino hacia su última morada.

De pronto me encuentro ante el tramo final, la *Gran Galería*. Se trata de una rampa de 23°, la misma inclinación que el eje terrestre. Su visión, con mucho, no te deja impasible. Necesitas detenerte para observar la precisión y metodología unidas en un poema en piedra. Es realmente el último camino hacia el mas allá, la vida eterna.

Sus muros son de caliza, únicos en su ejecución: la mampostería de los bloques es prácticamente invisible. Cabe destacar que como media cada bloque pesa unas 2,5 toneladas y que en aquella época se desconocían técnicas como la rueda, el hierro o el bronce.

En mi viaje a través del tiempo les dejo trabajando mientras me traslado a otros lugares del mundo...

Al mismo tiempo podríamos ver los zigurats en ladrillos de barro cocido en Babilonia o a la incipiente civilización minoica en Creta construyendo sus primeros palacios. También veríamos nacer las primeras ciudades del valle del Indo como Mohenjo-daro y Harrapa.

Y es que, de los añejos bloques de caliza que forman la estructura, aún mana el sufrimiento de un pueblo que con su sangre construyó la última morada de los llamados dioses en vida, los faraones.

Dicen que cuando las tierras de cultivo quedaban anegadas por las aguas, en las crecidas, los agricultores tenían poco que hacer y entonces trabajaban para alguna obra del faraón a modo de "exvoto" voluntariamente. Personalmente me quedan serias dudas...

Si dejas volar la imaginación y miras hacia el Nilo puedes ver en sueños cómo llegaban las barcazas desde las canteras de granito en el sur, cerca de Assuán, empujadas por la corriente cargadas de bloques de piedra inmensos y cómo marchaban, ya vacías contracorriente aprovechando los vientos que eran casi siempre norte-sur.

Y es que para ellos la muerte no era sino alcanzar la *barca solar*, aquella que les ayudaría a cruzar el río sagrado. A una orilla la muerte. En la otra Ra, el sol y la eternidad. Por esto en los lados este y oeste de la Gran Pirámide, simbolizando al sol naciente y poniente, estaban las barcas solares de cedro de Líbano para ayudar al difunto en tal propósito.

Pero continuemos nuestro paseo por Giza...

Si caminas hacia el sur dejando atrás la pirámide de Kefrén hazlo a través de la antigua calzada que la unía con su templo funerario. Relaja la vista porque de pronto verás a la eterna guardiana de las pirámides. Desde lejos puede parecer grande pero a medida que te acerques verás que es realmente colosal. Te puedes quedar absorto mirándola durante horas, tan envejecida y mutilada pero serena e impasible como hace milenios...

Realmente te sientes diminuto ante la visión de estas embarcaciones aún intactas de cerca de 5000 años...

Me detengo ante su rostro humano y observo entre sus garras de león dormido una estela de piedra escrita por un joven príncipe donde relata cómo se quedó dormido delante de la esfinge semienterrada. En sueños, ésta le hablo diciéndole que si la liberaba le haría Faraón. Nuestro príncipe así lo hizo y la Señora cumplió su promesa. Subió al trono con el nombre de Tutmosis IV.

Pero cuando el nuevo faraón, en agradecimiento, mandó inscribir la estela en las garras de su protectora ya habían pasado mas de 1000 años desde su época de gloria y las costumbres funerarias habían cambiado.

Estamos en el Imperio Nuevo y cuando el faraón acompaña los restos de su predecesor hasta su última morada, ésta ya no es una pirámide apuntando al cielo en el norte del país sino una cueva excavada en la colina de un valle al sur, en Tebas.

7.- AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias por su ayuda y apoyo a la *Embajada de la República Árabe de Egipto* en Madrid la cual me ha facilitado cuanto ha estado en su mano para escribir esta serie de artículos para la divulgación de la cultura de este país así como a la *Oficina de Turismo de Egipto* que cordialmente nos facilitó todo tipo de información y atenciones. Asimismo agradezco al Sr. Walid, director de *Nesseim tours,* todas las facilidades que ha puesto para llevar a cabo esta labor divulgativa.

8.-BIBLIOGRAFÍA

[1] I. Asimov *Los egipcios.* Ed. Alianza.
[2] M. Bonnet. *Egipto* Ed. Grech
[3] C.W. Ceram. *Dioses, tumbas y sabios.* Ed. Círculo de lectores.
[4] J. Llompart. *L'Oblit del passat.* Ed. Folio.
[5] A. Siliotti. *Egipto. Templos, hombres y dioses* .Ed. folio