

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objetivos:

El objetivo del presente documento es describir la realización de una librería de enlace dinámico y de una interfaz usuario-máquina, ambas aplicaciones desarrolladas para el control y monitorización de un pedestal de dos grados de libertad. Dicho pedestal, equipado con un equipo servo amplificador digital, es utilizado para manejar una antena de radiocomunicaciones, la cual realiza funciones de enlace entre aeronaves en fase de pruebas y una estación de control. De esta manera, los objetivos del proyecto son:

- Realizar una interfaz usuario-máquina (HMI, Human Machine Interface) que facilite la puesta en marcha del pedestal, así como la monitorización de los parámetros de funcionamiento del servo amplificador digital (DSA).
- Realizar una librería dinámica (DLL), la cual será quien realmente realice las funciones de control. Este control no sólo podría realizarse durante el arranque del pedestal. La librería podrá ser invocada posteriormente por aplicaciones externas que soliciten sus servicios para el futuro control en tiempo real de la antena.

## 1.2 Convenciones usadas

Las siguientes convenciones serán usadas en el presente texto:

Tabla 1: Tabla de convenciones

Convención	Descripción	Valor/Ejemplo
0x	Convención para expresar cifras en formato hexadecimal	0x7e ==> expresaría la cifra hexadecimal 7e
[ ]	Referencias bibliográficas	[1] Referencia a la primera entrada de la sección "Referencias"

## 1.3 Justificación del proyecto

Las comunicaciones tierra-aeronave para vehículos en fase de pruebas se realizan a través de antenas de microondas, para la recepción de los datos de los diferentes sensores y sistemas instalados en dicho vehículo en pruebas. En

el marco de este proyecto dicha antena es de tipo parabólico, ubicada sobre un pedestal articulado.



**Figura 1: Diagrama general del sistema completo**

Mediante este sistema articulado, la antena puede hacer un seguimiento de la posición de la aeronave, de forma que siempre apunte a ella, para optimizar la transmisión de información de control y parámetros del avión. Es por ello indispensable la presencia de un sistema de control de la antena, de forma que en cada momento pueda seguir al aparato, apuntando su receptor al mismo.

Del control físico del pedestal en el que la antena está ubicada, se encarga el subsistema denominado *Servo Amplificador Digital* (DSA, Digital Servo amplifier). Con este servo es posible controlar tanto el acimut como la elevación de la antena. Dicho servo permite además tanto un control en posición como un control en velocidad.

### 1.3.1 Especificaciones del cliente

La empresa de ingeniería ELIMCO requería, para uno de los proyectos que desarrolla para EADS en la Línea de Ensamblado Final (FAL, Final Assembly Line) que dicha empresa tiene en el aeropuerto de San Pablo, en Sevilla, desarrollar un software de control para la unidad servoamplificadora DSA que controlaría la antena parabólica.

ELIMCO es una compañía de expansión internacional en diferentes ramas de la ingeniería, fabricación y mantenimiento de sistemas. Su rama principal de actividad es la ingeniería eléctrica, electrónica y aviónica, operando tanto en el sector de Defensa como en el Civil.

La empresa desarrolla productos tales como sistemas automáticos de pruebas, simuladores, cableado embarcado, unidades de control de cabina, consolas y equipos embarcados, así como servicios de soporte a cliente, fundamentalmente ingeniería de campo y transformaciones eléctricas y de aviónica en FAL entre otros servicios. [8]

En los requerimientos del software, se incluía la implementación y gestión de todas las funciones y parámetros del sistema DSA, así como el control de un banco de filtros incluido en el sistema. Dicho banco de filtros, que será presentado con posterioridad, no forma parte activa del proyecto. Lo único a considerar de dicho banco es la capacidad de la interfaz HMI para poder seleccionar uno de los filtros que incluye el banco a voluntad del usuario.

Las características citadas en el párrafo anterior deben formar un conjunto englobado en un HMI amigable que será utilizado por el cliente para realizar el control sobre el posicionamiento de la antena de telemetría.

Para el desarrollo del software a realizar se debían tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debía implementar y gestionar todas las funciones y parámetros del DSA.
- Las funciones del DSA debían ser desarrolladas en Visual C 6.0 de Microsoft y recogidas en una aplicación de tipo DLL
- La interfaz HMI debía cumplir las siguientes especificaciones:
  - Selección filtro. Módulo que permitiese seleccionar el filtro a utilizar en cada momento.
  - Petición de Status (estado). Dicho comando debía poder ser enviado al DSA para que nos devuelva el status (azimut y elevación a la que apunta la antena, servo ON/OFF, MPC ENABLE ON/OFF, VELOCIDAD y resto de parámetros de STATUS que aporte el DSA)

- Cambios de configuración de la antena, como por ejemplo disponer de un botón de STOP, apagado de SERVO, selección de coordenadas de referencia, aplicar GPS-tracking,..
- GPS-TRACKING: Función que debe estimar la velocidad a la que debe moverse la antena en ese T para alcanzar el azimut y la elevación del avión en T+To, donde To es el tiempo de bucle.
- Comando ACU: Comando con el formato adecuado para que le llegue al DSA los datos introducidos desde el HMI.
- El HMI debía ser amigable e iría implementado en Visual Basic.
- El HMI debía ir completamente comentado para permitir su posterior modificación por parte de cliente.
- El código fuente del HMI sería entregado como parte de la documentación del proyecto.

### **1.3.2 Sistema físico a controlar por el software desarrollado**

Como se ha comentado en los anteriores apartados, el sistema a controlar es el formado por una antena parabólica de radiocomunicaciones, movida por un sistema de motores controlados por un servo amplificador digital, que realiza un control en corriente.

El cliente seleccionó para esta función al fabricante Orbit, usando un equipamiento denominado *AL-4018-1CASA Elevation over Azimuth Antenna Positioner*, que incluía todos los equipos necesarios para mover la antena (esto es, se trata del pedestal que, entre otros equipos, incluye al DSA), y la propia antena, *AL-4018-2.4S-SYS*. En la siguiente figura se puede observar el conjunto, a la hora de ser montado en las instalaciones de la FAL



**Figura 2: Colocación del sistema pedestal-antena**

El *AL-4018-1 Elevation over Azimuth Antenna Positioner* está diseñado para operar en media carga. De esta manera este modelo es capaz de manejar diferentes tipos de carga, permitiendo de esta forma controlar la antena seleccionada en los ejes de acimut y elevación.

El equipo AL-4018-1 es un equipo de posicionamiento, que puede ser configurado para aplicaciones fijas en suelo o aplicaciones móviles, como vehículos en carretera, trenes o barcos. También está diseñado para trabajar en aplicaciones al aire libre, como es el caso de este proyecto.



**Figura 3: AL-4018-1 Elevation over Azimuth Antenna Positioner [5]**

El pedestal posee dos unidades de movimiento de un eje, cada una. Uno para la componente de acimut y otro, para la de elevación. La unidad de acimut tiene un funcionamiento continuo (en toda la circunferencia) tanto a favor como en contra de las agujas del reloj. Sin embargo, para limitar el movimiento de la antena al hemisferio superior, la unidad de elevación tiene unos rangos de movimiento predeterminados. Los movimientos combinados de las unidades axiales consiguen, de esta forma, mover la antena en el hemisferio superior del sistema de coordenadas esféricas.

Cada una de las unidades axiales consiste en un motor AC sin escobillas, junto a engranajes de reducción del movimiento de los motores, entre otros dispositivos. La unidad de elevación posee además dispositivos fin de carrera, para acotar el movimiento. Los motores son controlados mediante el DSA. [5]

El servo amplificador digital (DSA) utilizado es el *AL-2005-DSA-03 Digital Servo Amplifier*, diseñado para motores sin escobillas. Como ya se ha comentado, de nuevo el fabricante es Orbit Technologies. La comunicación con los DSA se realiza mediante interfaz RS-422.

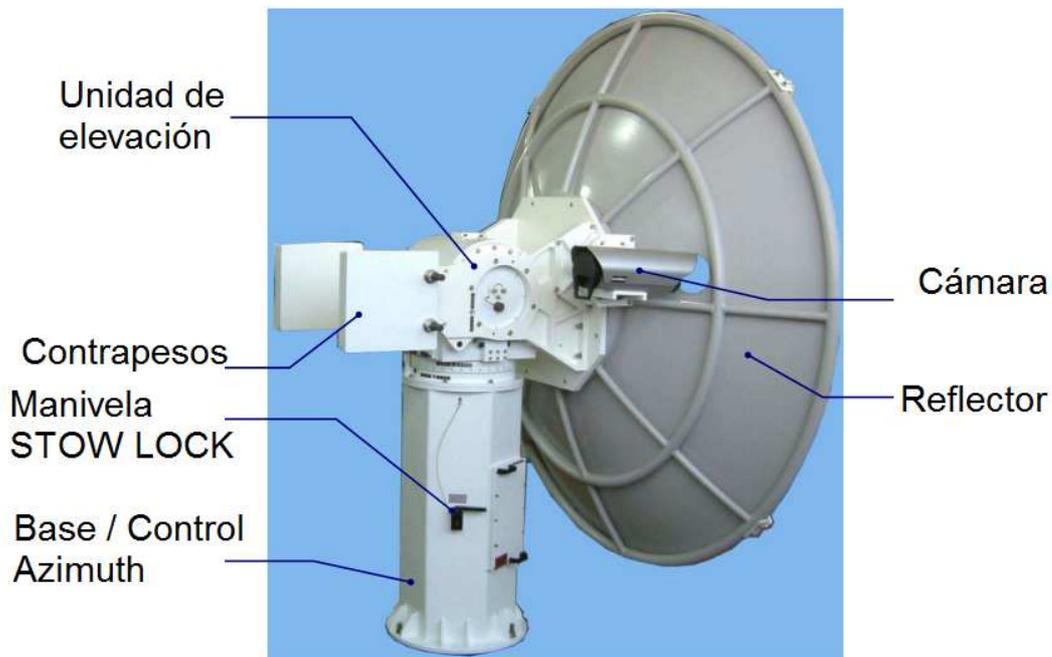
Los servo amplificadores digitales (DSA) utilizados son los AL-2005-DSA-03 de Orbit Technologies. Se trata de un servo amplificador digital para motores sin escobillas. Se trata de una unidad basada en procesadores de señal, responsable de los bucles de control de la corriente del motor, velocidad del motor y posición del eje, además de comprender una unidad de testeo integrada (BIT, built in test) del pedestal completo.



**Figura 4: Unidad de DSA, Orbit Technologies.**

El equipo incorpora un sistema de testeo embebido, o BIT (Buil-in Test), diseñado para testear todo el pedestal. También dispone de sensores de posición y velocidad para un correcto control de la antena, entre los que se encuentran sensores efecto Hall, encoders, y otros. [3]

Permite diferentes interfaces serie, como UART, SPI, bus CAN (como se verá en el apartado 2 del presente documento, el protocolo que el fabricante desarrolló para el manejo de los DSA se basa en este estándar industrial de BOSCH [2]).



**Figura 5: Sistema DSA y antena ORBIT [3]**

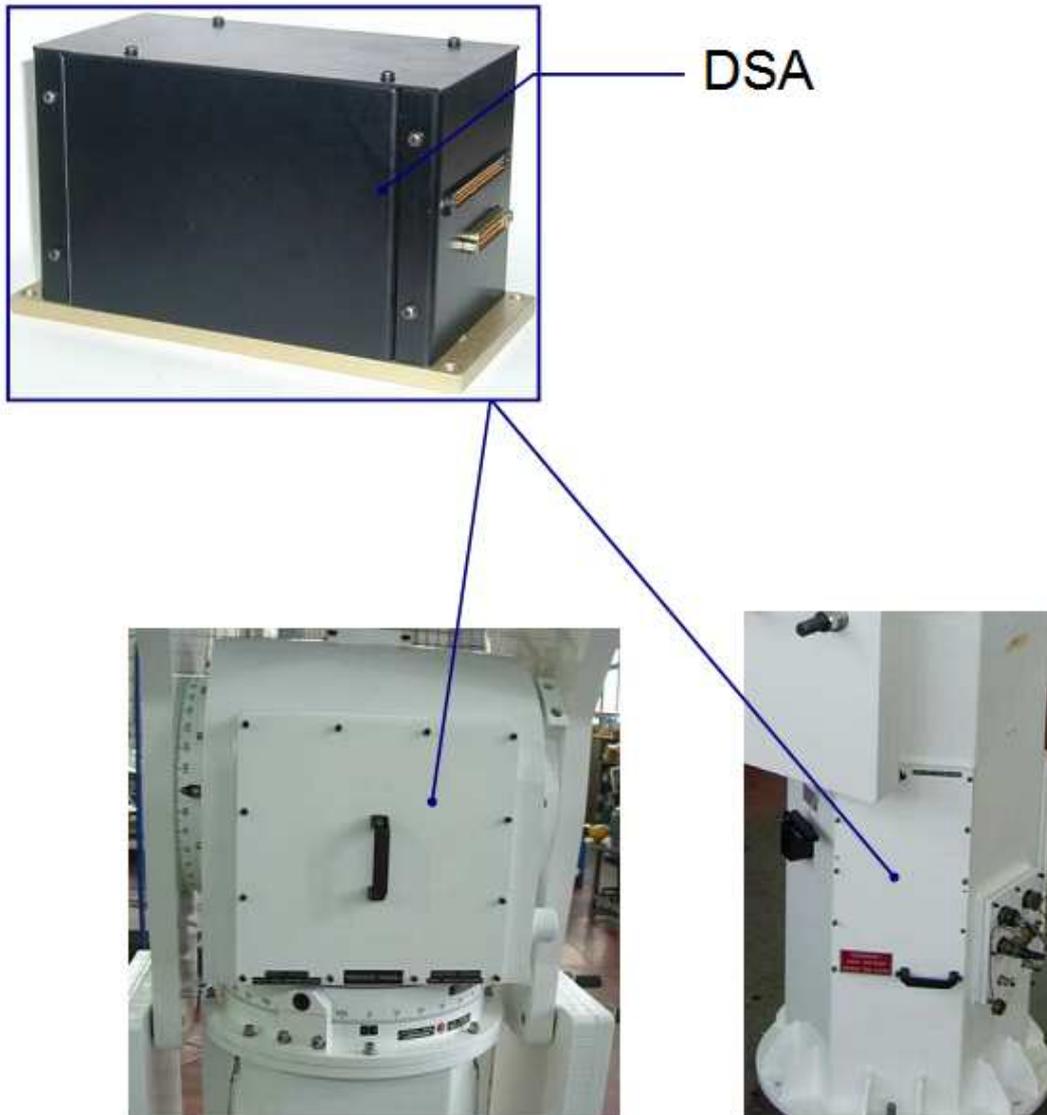
Como se acaba de mencionar, Orbit Technologies desarrolló, para el correcto control del sistema DSA-Motores-Antena, un protocolo propio. Dicho protocolo está basado en el estándar de Bosch CAN, y toma el nombre de OCP (Orbit Control Protocol).

Su propósito es proveer una herramienta para la comunicación entre diferentes dispositivos de control de Orbit, y también comunicar estos con dispositivos de control de usuarios, o equipos *host*. La comunicación entre dispositivos se basa en la utilización de los objetos de comunicación (COB, Communication objects).

Se trata de un protocolo asentido, en el que el intercambio de COBs (SDO y PDO) completa las distintas necesidades de comunicación. Se incluyen tanto modos de comando, como modos de estado y test interno del sistema (BIT, Built-In-Test). Los pormenores de dicho protocolo se detallan en el apartado segundo de este documento.

La antena seleccionada fue la AL-4018-2.4S, también de Orbit Technologies. Se trata de un sistema parabólico de 2.4 metros de diámetro para la comunicación en banda S, instalada sobre el pedestal. El eje de elevación está equipado con una preinstalación que permite el montaje de una videocámara. Esta videocámara será controlada por una unidad externa. [3]

El receptor de tipo circular de polarización dual en banda S. Se compone de una bocina de banda ancha (2150 – 2800 MHz) dual linealmente polarizada, acoplada a polarizaciones circulares tanto a derecha como a izquierda.



**Figura 6: Situación del DSA en el pedestal[3]**

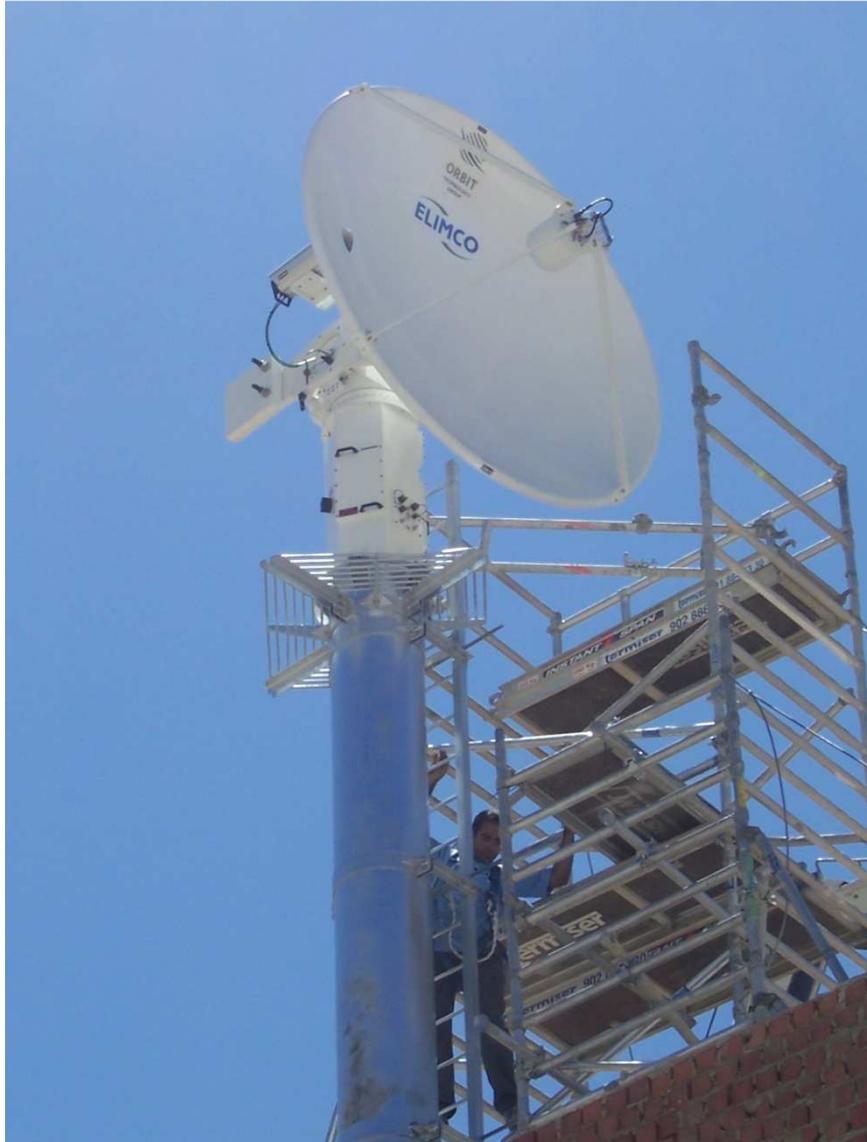
Por ultimo, cabe comentar la existencia de unos filtros de radiofrecuencia en banda S, que el cliente quería controlar también desde la HMI. El banco de filtros fue realizado por la empresa GIZA, con las características que se pueden consultar en la siguiente figura.

Pos	Parámetro	Mínimo	Típico	Máximo	Unidades
1	<b>Filtro 1</b>				
	Margen Frecuencia Filtro 1 (a 3 dB)	2.15	$f_0=2.225$	2.30	GHz
	Rechazo a $f_0 \pm 175$ MHz	50			dBc
	<b>Filtro 2</b>				
	Margen Frecuencia Filtro 2 (a 3 dB)	2.30	$f_0=2.350$	2.40	GHz
	Rechazo a $f_0 \pm 150$ MHz	50			dBc
	<b>Filtro 3</b>				
	Margen Frecuencia Filtro 3 (a 3 dB)	2.70	$f_0=2.725$	2.75	GHz
	Rechazo a $f_0 \pm 125$ MHz	50			dBc
	<b>Filtro 4</b>				
	Margen Frecuencia Filtro 4 (a 3 dB)	2.15	$f_0=2.475$	2.80	GHz
	Rechazo a $f_0 \pm 425$ MHz	50			dBc
2	<b>Pérdida de Inserción</b>	-	-	6.5	dB
3	<b>Flatness en banda</b>			3	dB
4	<b>Aislamiento</b>	60	-	-	dB
5	<b>VSWR en Banda de Paso</b>	-	-	1.7	
7	<b>Tiempo de Conmutación</b>	-	-	200	ns
8	<b>Margen de Temp. Operación</b>	-55	-	+85	°C

**Figura 7: Características de los filtros de GIZA. [4]**

Dicho banco de filtros se comunica con el sistema de control mediante interfaz serie, mediante el estándar RS-422.

RS-422 es la manera abreviada de conocer al estándar *ANSI/TIA/EIA-422-B* y su equivalente internacional de la ITU-T Recomendación T-REC-V.11, también conocida como X.27. Estos estándares especifican las características eléctricas de la interfaz digital balanceada. RS-422 provee medios para la transmisión de datos usando señalización balanceada o diferencial.



**Figura 8: Sistema instalado.**

## **1.4 Software**

El sistema presentado en este apartado se controla a través de dos herramientas software. La conexión de dichas herramientas con las distintas partes del sistema se muestra en la siguiente figura.

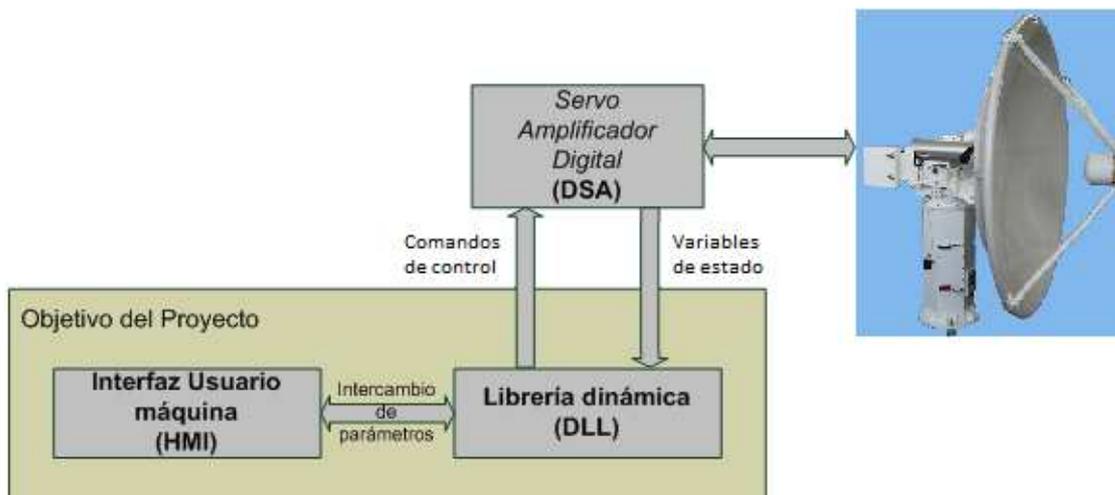


Figura 9: Esquema general del sistema

Una de ellas es una aplicación de librería de enlazado dinámico (DLL, Dinamic Link Library) para entornos Microsoft Windows (DLL del tipo win32). A través de ella se hará el control de la DSA, estando conformada esta librería por las funciones que permitan dicho control.

Esta DLL ha sido programada usando la tecnología Microsoft Visual C++, en la versión 6.0. La utilización de dicha versión del entorno de trabajo de Microsoft fue una imposición del cliente.

La DLL será invocada por el usuario desde el HMI desarrollado en el marco de este mismo proyecto, o bien mediante alguna aplicación externa que haga uso de la librería.

La interfaz máquina-humano (HMI, Human Machine Interface) es la otra herramienta software realizada para el control del sistema. En esta ocasión se trata de una aplicación visual en formato ventanas de formularios, desarrollada en tecnología Microsoft Visual Basic, también en versión 6.0 por el mismo motivo que el entorno C++.

En esta herramienta se gestiona la monitorización y el control de los distintos parámetros del DSA, y por consiguiente, de la antena.

#### 1.4.1 *Dinamic Link Library (DLL)*

Como se ha comentado anteriormente, el eje central del presente proyecto es la realización, en tecnología Visual C++, de una librería de enlazado dinámico. El entorno de desarrollo (IDE) utilizado es el Microsoft Visual Studio 6.0. Como es conocido, C++ es una extensión del estándar ANSI C que soporta programación orientada a objetos.

La versión 6.0 del entorno de desarrollo de Microsoft, Visual Studio, fue lanzada en el año 1998. Orientada a mantener el entorno en una evolución

paralela a los nuevos escenarios informáticos (especialmente, al desarrollo de aplicaciones para internet y software para sistemas de arquitectura distribuida), esta versión era la primera en incluir características como IntelliSense (autocompletado y desambiguación de variables, funciones, invocaciones, estructuras...) o consejos para el código. [6]

Uno de los tipos de aplicaciones que permite este IDE, y el cual es el que es interesante en el desarrollo de este proyecto, es el de DLL. El enlazado dinámico de una librería permite cargar y enlazar en tiempo de ejecución bibliotecas construídas a tal efecto. Esto además permite que diferentes aplicaciones compartan una misma DLL, ahorrando tanto en memoria como en espacio en disco.

Sin embargo, la característica de una DLL más atractiva para el cliente, en el marco de este proyecto, es la mayor modularidad en la programación y en del desarrollo de aplicaciones. De esta forma, el cliente podrá usar la DLL desarrollada para futuras aplicaciones de control, sin preocuparse de los detalles de la programación en sí, simplemente invocando los servicios que provee dicha librería.

En el marco del presente proyecto, esta DLL servirá como librería para diferentes aplicaciones. En un primer momento, servirá para que la aplicación gráfica interfaz, conocida como HMI (Human Machine Interface, Interfaz humano-máquina) se abstraiga de la funcionalidad de niveles de enlace, físico y red para implementar únicamente los elementos del nivel de aplicación. Bien es cierto que dicha HMI, como se explicará posteriormente, tendrá una cierta capacidad para interactuar a esos niveles, pero nunca como parte ejecutora sino como entidad de nivel superior que solicita ciertos servicios.

Por otra parte, EADS (contratista de ELIMCO) deseaba tener unas librerías que le permitieran, en futuras aplicaciones, poder controlar el pedestal fácilmente. De esta forma ellos podrían realizar aplicaciones de control sobre la antena que mandasen comandos directamente al pedestal, sin preocuparse de los distintos comandos que necesitarían ni del protocolo de comunicaciones del fabricante del pedestal.

#### **1.4.2 Human Machine Interface (HMI)**

El propósito de la HMI es dotar al usuario de una interfaz amigable para poder realizar un control y monitorizado del sistema pedestal-DSA-antena. Esta herramienta se ha programado, por petición del cliente, en el IDE Visual Basic 6.0, de Microsoft, incluido también en el paquete Visual Studio mencionado en el apartado anterior.

A pesar de que en sus orígenes, BASIC (Código simbólico de instrucciones de principiantes multipropósito, Beginner's Allpurpose Symbolic Instruction Code) era un lenguaje de alto nivel muy básico (de hecho, se desarrolló como un instrumento de aprendizaje), con el paso del tiempo y la aparición de diferentes "dialectos" altamente modificados se ha ido convirtiendo en una poderosa

herramienta para el desarrollo de aplicaciones en el entorno Microsoft Windows.

Uno de estos “dialectos” es el conocido como Visual Basic. En sus seis versiones, Visual Basic pasó a ser un entorno de desarrollo sumamente complejo, capaz de proporcionar cualquier tipo de aplicación. Añade a ello una relativa sencillez en crear formularios tipo ventana, simplemente arrastrando y editando las propiedades de los controles que sea de interés utilizar.

Ambas entidades, controles y formularios, son *objetos* de Visual Basic. Como objetos, tienen una serie de propiedades que definen su comportamiento y características, reaccionan a métodos implementados para conseguir un comportamiento determinado, y provocan sucesos (tales como hacer click en un botón, introducir datos en una caja de texto (text box), etc), los cuales harán reaccionar al programa para que se ejecuten los métodos deseados.[7]

Centándose en el presente proyecto, mediante la herramienta Visual Basic se realiza la programación de la interfaz. Dicha interfaz tendrá diferentes funcionalidades, tanto de control de la antena, como de configuración y monitorización de los diferentes subsistemas del pedestal.

Así, se incluirá una ventana de control, en la que también se monitorizará el estado actual de apuntamiento, e incluirá un módulo para el control manual de la posición de la antena. Existirán también dos ventanas (una por eje) para la monitorización del test embebido de Orbit, BIT (Built In Test). Se provee también la posibilidad de mandar tramas introduciendo directamente el código que se quiere escribir, así como una ventana para la selección del filtro de comunicaciones deseado.