

EOCEN: Sistema de Control de la Calidad de la Energía Eólica

Memoria Justificativa

Gonzalo Pérez Noguero

Tutor: D. José Luis Calvo Borrego

Departamento de Ingeniería Electrónica
Universidad de Sevilla

Junio de 2006



- 1. Introducción 24
- 2. Solución propuesta para el proyecto EOCEN 27
- 3. Analizadores de red 29
- 4. Sistema de comunicaciones 32
 - 4.1. Comunicaciones entre ARP y ADS 35
 - 4.2. Comunicaciones entre el ARP y el centro de control de parque 37
 - 4.3. Protocolos de comunicaciones 38
- 5. Sistema de gestión y control central de parque 40
 - 5.1. Base de datos 41
 - 5.2. Sistema de visualización SCWEOCEN 43
 - 5.2.1. Tecnologías empleadas 44
 - 5.2.2. Motores de la aplicación 45
 - 5.3. Núcleo y plugins 46



1. Introducción

El proyecto EOCEN pretende dar solución a las deficiencias encontradas en los sistemas de control actuales para parques eólicos, permitiendo adaptarlos a las nuevas exigencias legislativas y de mercado.

Ante la problemática planteada en la memoria descriptiva de este proyecto se trazan unos **objetivos** concretos que marcarán el **diseño** del sistema solución resultante de este proyecto:

- Debe ser un **sistema distribuido** para aumentar la capacidad de procesamiento de los datos y evitar saturar las redes de comunicaciones con transmisiones innecesarias de información.
- La implementación tiene que ser **modular y flexible** para permitir cambios o ampliaciones en la red de control, facilitando la adaptación a futuras necesidades de los promotores de parques eólicos.
- El diseño debe ser **independiente del tipo de máquina** a operar y **compatible con los sistemas de control en funcionamiento**, aprovechando en la medida de lo posible las instalaciones actuales.
- Los retrasos a la hora de procesar la información deben ser mínimos, permitiendo que el sistema trabaje en condiciones de **tiempo real** blando.
- Los sistemas de tratamiento de la información deben aportar la potencia necesaria para realizar las funciones requeridas:
 - **Análisis en frecuencia de las señales** para obtener los **estudios de calidad**. Los estudios de calidad están compuestos por los 50 primeros armónicos e inter armónicos de cada una de las tres tensiones trifásicas, obtenidos aplicando FFT's a 10 ventanas temporales de 16 ciclos de red, según las normas establecidas para los estudios de calidad en la norma CEI 61000-3-6. (ver Anexo B de la memoria de cálculo)
 - **Control del factor de potencia** de cada una de las máquinas, así como del parque eólico en conjunto.



- **Supervisión de los eventos** producidos. Un evento es una situación anómala en el funcionamiento de una máquina determinada mediante un disparador sobre una variable física que puede ser programado. El sistema debe permitir, además de **programar los disparadores de los eventos**, registrar las formas de onda de las tensiones e intensidades trifásicas en el instante en que se produce el evento y los momentos posteriores (**cyclic**), para determinar las posibles causas y consecuencias del mismo.
- Debe poseer un **sistema de comunicaciones robusto y flexible con un elevado ancho de banda** que permita la transmisión de los flujos de información necesarios sin retrasos.
- La interfaz del sistema tiene que estar preparada para **permitir el envío de órdenes** por parte de los operadores que permitan el telecontrol de los equipos de procesamiento de datos instalados en cada aerogenerador.
- El acceso a la interfaz debe poderse realizar desde cualquier punto de la intranet de la empresa promotora del parque eólico.

Muchos de estos objetivos no pueden ser cubiertos con el uso de sistemas basados en SCADAS propietarios, situación que obliga a buscar y estudiar posibles alternativas, siendo las **tecnologías de fuentes abiertas basadas en estándares** las principales candidatas debido a sus innumerables ventajas:

- **Bajo coste** económico al evitar tener que pagar licencias.
- **Elevada potencia** basada en las librerías y desarrollos ya implementados por desarrolladores en todo el mundo.
- **Alta flexibilidad**, ya que permiten diseñar una aplicación totalmente específica para las necesidades planteadas, en lugar de tener que adaptar un software comercial a nuestros requisitos.
- Independencia de las limitaciones de los productos propietarios.
- Basadas en estándares ampliamente aceptados y difundidos, lo que facilita la **portabilidad y la interoperabilidad**.



El uso de estas tecnologías dota al proyecto de un enorme **valor añadido**, pero también requiere de un enorme esfuerzo investigador y una alta inversión en horas de trabajo.

En la presente memoria se plantea de forma cualitativa la solución aportada por el proyecto EOCEN a las necesidades planteadas y se justifica la elección de las tecnologías empleadas y el diseño del sistema realizado, obviando los detalles técnicos y de implementación de dicha solución, que se presentarán en la memoria de cálculo.



2. Solución propuesta para el proyecto EOCEN

Tras analizar las necesidades planteadas en el proyecto EOCEN, se diseñó un sistema capaz de cumplir con todos los objetivos marcados. Para conseguir **distribuir la capacidad de procesamiento** y optimizar el rendimiento, se optó por dividir el sistema en dos bloques bien diferenciados, los analizadores de red y el sistema de gestión y control central de parque. El diagrama de bloques queda recogido en la imagen 1.

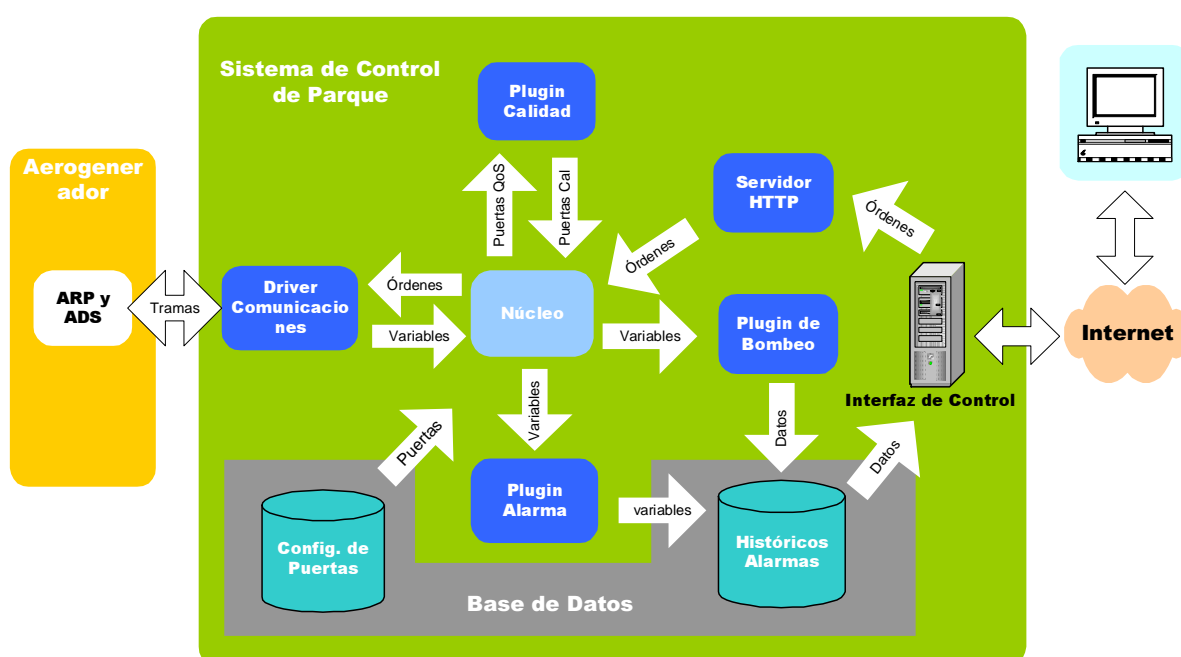


Imagen 1: Diagrama de bloques del sistema diseñado

- **Analizadores de red:** son los encargados de **recoger las medidas** de los sensores y realizar el **preprocesado de la señal**. Cada aerogenerador llevará instalados, por lo menos, uno principal (ARP), que además poseerá un dispositivo específico encargado de las comunicaciones con el sistema de control central, y uno secundario (ADS). Este reparto de analizadores es el que **permite distribuir la capacidad de procesamiento del sistema**.
- **Sistema de control y gestión central:** se encuentra ubicado en la subestación del parque y su misión es aglutinar los datos enviados por los analizadores de red instalados en los aerogeneradores del parque, formatearlos y presentarlos al operador



a través de una **interfaz** que permita no sólo la **monitorización y análisis de los datos**, sino además el **telecontrol de los analizadores**.

Funciona sobre un **servidor con sistema operativo Linux** (distribución Ubuntu). La elección de Linux se debe a múltiples factores:

- Es un sistema operativo de **fuentes abiertas**, con las ventajas que ello conlleva
- Da soporte a las tecnologías de fuentes abiertas empleadas en el desarrollo del sistema
- Permite configurar el funcionamiento del sistema operativo de manera más exhaustiva a las necesidades del proyecto, **optimizando el rendimiento** de la máquina
- Tiene la opción de eliminar la interfaz gráfica, pudiendo manejarse desde la línea de comandos, **reduciendo así el consumo de recursos del servidor**
- Es muy robusto frente ataques de virus

El sistema central posee una base de datos para almacenar los históricos de las variables y permitir análisis posteriores más detallados del funcionamiento del parque y/o de una máquina en concreto.

En los sucesivos apartados de esta memoria se desarrollará cada uno de estos dos bloques, haciendo especial hincapié en las tecnologías utilizadas para desarrollar cada uno de ellos.



3. Analizadores de red

Los analizadores de red son los equipos encargados de tomar los datos suministrados por los sensores instalados en los aerogeneradores y, a partir de ellos, obtener las medidas necesarias para el control de la calidad de la energía eólica que se está produciendo.

Las funciones a realizar por los analizadores de red son:

- **Adaptación de la señales** obtenidas por los sensores para poder ser posteriormente procesadas
- Tratamiento de los datos obtenidos, realizando **análisis en el dominio de la frecuencia** de las variables trifásicas y generando estudios de calidad
- **Seguimiento de los eventos** producidos por disparadores programables sobre variables físicas del sistema
- **Envío de la información** recogida al sistema central de control de parque.

Para realizar estas funciones se recurre al **uso de autómatas**, que con un coste reducido aportan grandes ventajas: alta robustez para trabajar en condiciones de campo, dimensiones y consumo reducidos, gran versatilidad y fácil instalación en los aerogeneradores. Además permiten reutilizar los sensores ya instalados en cada aerogenerador.

Siguiendo las pautas de diseño, en las que se marca la **modularidad** del sistema como uno de los principales objetivos, se decidió desarrollar dos tipos de analizadores de red:

- **ARP** (Analizador de Red Principal): autómata cuya finalidad es realizar las labores de **procesado de los datos** y enviar los resultados de las mismas al sistema de control central de parque.

Debido a la enorme cantidad de datos que debe tratar en **tiempo real**, se implementará usando un **DSP**, microprocesador con una CPU de gran potencia optimizado para las labores de tratamiento de señales mediante la adición de juegos de instrucciones hardware y el uso de memorias caché de elevado tamaño y alta velocidad [2], que recibirá la ayuda de algunos módulos adicionales:



- **Módulo de comunicaciones:** liberará al DSP de todas las tareas relacionadas con la comunicación, tanto con el/los ADS asociados como con el sistema central de control.
- **Dispositivo de memoria:** permitirá guardar, además de la configuración del ARP, los eventos, históricos y transitorios de los parámetros medidos. Será de tamaño medio, ya que el almacenamiento es temporal (hasta que los datos son enviados al centro de gestión del parque).
- **Display y teclado:** constituyen la interfaz de configuración manual del analizador.

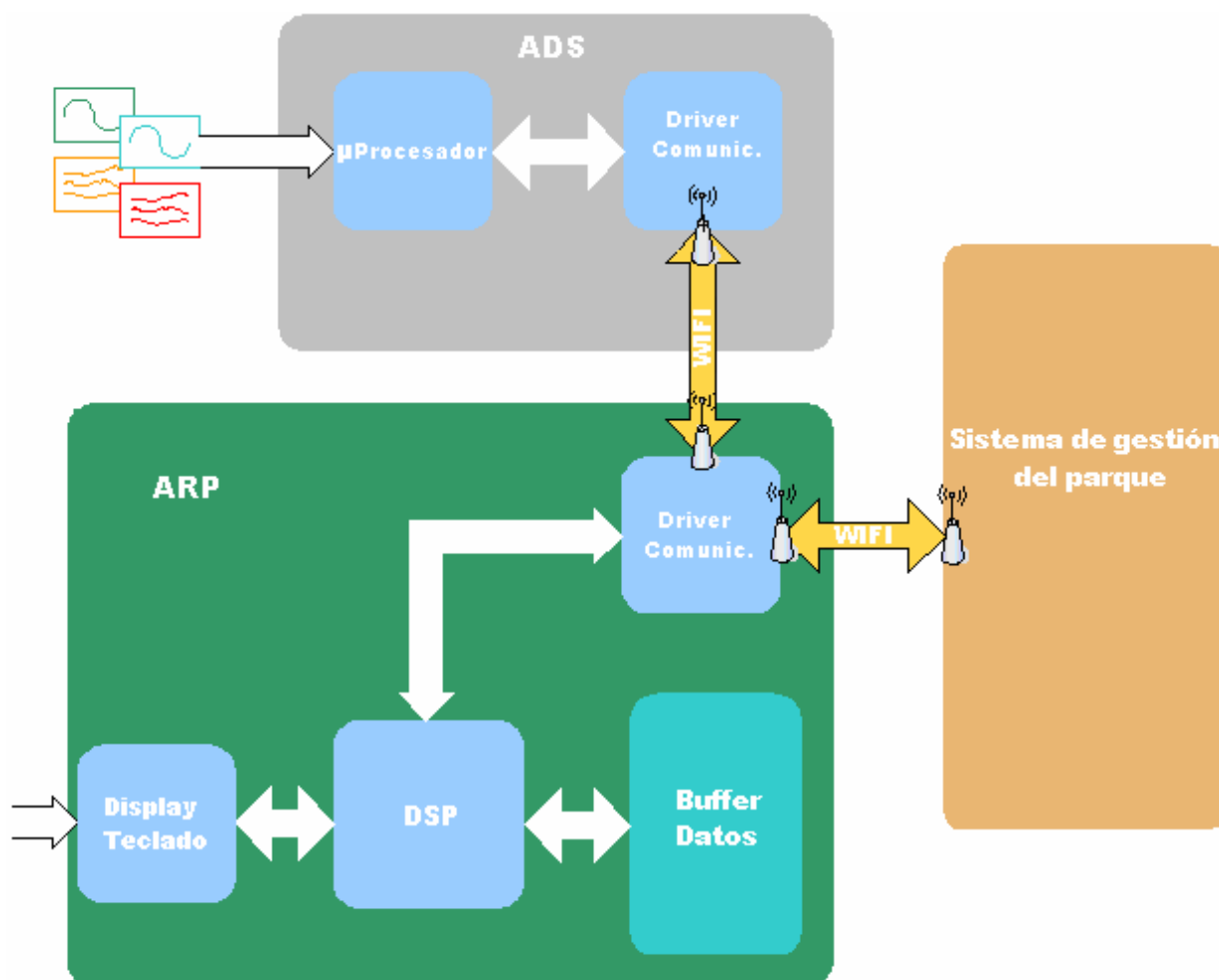


Imagen 2: Diagrama de bloques de la red de control propuesta para cada aerogenerador

- **ADS (Analizador de Red Secundario):** será el encargado de realizar las **adaptaciones de las señales** recibidas de los sensores, antes de que estas pasen al ARP. Posee 4



entradas para señales analógicas de tensión comprendidas entre 0 y 5 V y con un ancho de banda de 500 Hz.

La finalidad de independizar la etapa de adaptación de las señales del resto de funciones consiste en **hacer totalmente transparente el módulo de captación de la señal del procesado de la misma**. Con esto se consigue reducir el trabajo de añadir al sistema nuevas variables a monitorizar a introducir el sensor necesario e implementar la etapa de adaptación en el ADS, sin apenas tener que realizar modificaciones en los ARP.

En previsión de futuras ampliaciones del sistema, se ha diseñado para que cada aerogenerador pueda tener uno o varios ADS asociados a su ARP.

Debido a las reducidas necesidades de recursos de este tipo de analizadores, se implementarán sobre un microprocesador de gama media. Poseerán además un periférico específico para la transmisión de información al ARP.



4. Sistema de comunicaciones

La misión de los sistemas de comunicaciones a implementar será permitir el intercambio de datos entre ADS - ARP y entre los ARP y el sistema de control central.

Actualmente, todos los parques eólicos constan de redes de comunicaciones entre los aerogeneradores y el centro de gestión del parque basadas en medios cableados. Sin embargo, es imposible la reutilización de éstas para los fines del proyecto ya que tienen una capacidad limitada para la transmisión de datos y la mayor parte del ancho de banda que ofrecen es utilizado por los sistemas de control implantados.

Ante esta situación se plantea una doble posibilidad: ampliar las redes existentes mediante el tendido de cableado nuevo o implantar un **sistema de comunicaciones basado en redes inalámbricas**.

Las características propias de los parques eólicos, situados en zonas de orografía complicada y con elevadas distancias entre los aerogeneradores, junto con la enorme evolución sufrida por las tecnologías inalámbricas en los últimos años, capaces de soportar enlaces de decenas de kilómetros con elevados anchos de banda y con las condiciones de seguridad y robustez necesarias, convierten a la segunda opción en la candidata idónea, presentando múltiples ventajas:

- **Costes reducidos:**

Los gastos que supone el cableado de un parque eólico crecen linealmente con la distancia a cubrir entre los distintos aerogeneradores que forman parte del parque y la subestación en la que se encuentran los equipos de supervisión y telecontrol, siendo la causa principal de dicho aumento el precio del cable en sí. Otro factor a tener en cuenta son los costes asociados a la instalación, mantenimiento, reparación y ampliación del cableado que aumentan sensiblemente en el contexto de los parques eólicos debido a la ubicación geográfica de los mismos (desplazamientos de material y personal, coste de operación en horas por trabajador necesarias, etc.) y a la orografía del terreno.

Estos costes se ven notablemente reducidos con el uso de redes inalámbricas, en las que **sólo se requiere la instalación de un equipo transmisor en cada aerogenerador más el correspondiente receptor en la subestación**, con el consiguiente ahorro en tendido de



cable que puede llegar a alcanzar varias decenas de kilómetros en un parque eólico de dimensiones medias.

- **Simplificación del mantenimiento:**

El envejecimiento de los cables puede provocar rupturas, fallos en el tendido o problemas en los conectores, siendo estos últimos de difícil detección y localización. Inspeccionar, probar y encontrar problemas, reparar y reemplazar el cableado, supone tiempo, trabajo y materiales. Si además los fallos del cableado causan una detención de la producción, la repercusión económica puede ser elevada.

Los sistemas inalámbricos evitan cualquier coste relacionado con la localización de fallos, gracias a la inclusión de sensores y la sustitución de cables y eliminan el tiempo fuera de servicio.

- **Flexibilidad mejorada:**

Sin la restricción de los cables, resulta más fácil controlar los materiales y hacer cambios en la estructura de la instalación para adaptarse a los requerimientos cambiantes de los clientes o a futuras ampliaciones del sistema, lo que se traduce en una **mayor flexibilidad y escalabilidad** con un coste reducido.

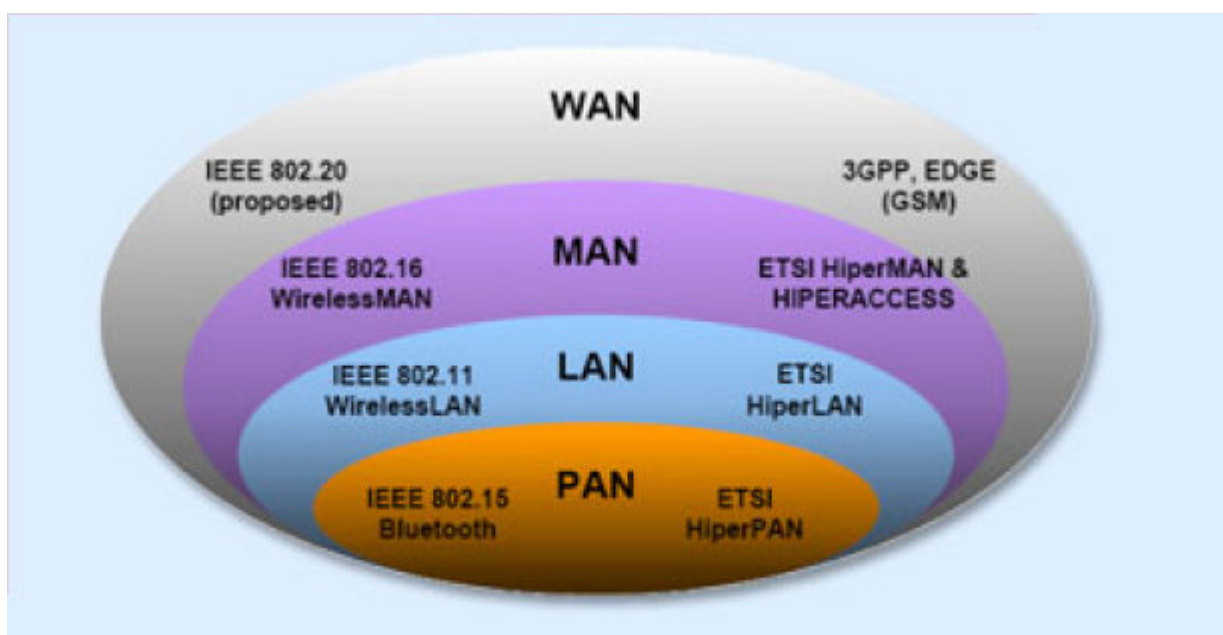


Imagen 3: Diagrama con las principales tecnologías inalámbricas. Fuente: *WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access)*, José Manuel Huidobro [3]



A la hora de elegir la tecnología inalámbrica, se hizo un estudio de las virtudes e inconvenientes de los principales estándares existentes la actualidad.

Los estándares de la familia **HiperPAN/MAN/LAN** se descartaron debido a su escasa difusión y a la poca experiencia en su uso, ya que los procesos de estandarización de los mismos son recientes. Constituyen, en definitiva, una **tecnología todavía prematura, poco extendida y cara**.

Otra de las tecnología descartado fue la propuesta inicialmente en la memoria descriptiva de este proyecto, **WWISE**, actualmente en **fase de desarrollo y prueba** por la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), siendo su rendimiento aún una incógnita.

Tras realizar estos descartes, las posibles opciones restantes fueron Bluetooth, WIFI, WIMAX y UMTS. Las características de estos estándares quedan recogidas en la tabla 1 [4].

Criterio	Bluetooth	WIFI (802.11x)	3G	WIMAX (802.16x)
Alcance máx.	20m	< 500 m	10 Km	Entre 40 y 70 Km
Escalabilidad	Redes PAN	Redes LAN	Redes WAN	Redes MAN
Tasa de transferencia máx.	Hasta 1Mbps	Entre 11 y 54 Mbps	Entre 144 Kbps y 2 Mbps	124 Mbps
Rango frecuencias	2.4 GHz (libre)	2.4 y 5 GHz (libre)	1.9 – 2.1 GHz (con licencia)	3,5 y 10,5 GHz (con licencia) y 2,4 y 5,725-5,825 GHz (libres)
QoS	Soportada	No soportada	Soportada	Soportada
Ventajas	Precio Consumo	Velocidad Precio	Movilidad Alcance	Velocidad Alcance
Inconvenientes	Alcance	Baja seguridad	Lento Caro	Interferencias
Optimizado para:	Transmisión de voz y datos a corta distancia	Redes inalámbricas LAN de datos, especialmente en interiores	Comunicaciones inalámbricas móviles. Transmisión de voz y datos	Redes inalámbricas MAN

Tabla 1: Comparativa entre las distintas tecnologías inalámbricas existentes



4.1. Comunicaciones entre ARP y ADS

El enlace de comunicaciones entre los analizadores de red tiene una doble misión: transmitir las medidas captadas por el ADS al ARP en tiempo real y enviar las tramas de información generadas por el ARP al equipo de transmisión que soporta el enlace con el sistema de gestión de parque, situado en la parte superior del aerogenerador.

Los requisitos que debe cumplir son:

- Tasa de transferencia alta para soportar el **tráfico de datos en tiempo real** y evitar retardos en el sistema.
- **Alcance corto**, del orden de unos 20 - 30 metros, que es la distancia que separa la góndola del aerogenerador, donde se ubican los ADS y la antena de transmisión hacia el sistema central, de la base, dónde se localiza el ARP, en condiciones de interiores.
- **Coste reducido**, ya que hay que implementar un enlace de este tipo por cada aerogenerador.

La tecnología más idónea para cubrir las necesidades expuestas (ver tabla 1) es WIFI. Las distintas posibilidades que ofrece esta tecnología quedan recogidas en la tabla número 2:

criterio	802.11b	802.11g	802.11a
Tasa de transferencia máx.	11Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Alcance	30 m a 11 Mbps 90 m a 1 Mbps	15 m a 54 Mbps 45 m a 11 Mbps	12 m a 54 Mbps 90 m a 6 Mbps
Canales sin solapamiento	3	3	8
Rango frecuencias	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz
Modulación /MUX	DSSS	DSSS mejorado	64QAM y OFDM
Ventajas	Alcance Coste	Velocidad Alcance	Velocidad Robustez
Inconvenientes	Velocidad		Alcance

Tabla 2: Comparativa de los estándares WIFI (802.11)



Debido a la alta velocidad ofrecida en las distancias consideradas, se optó por hacer uso del estándar **802.11g** para la implementación de los enlaces entre los analizadores de red.

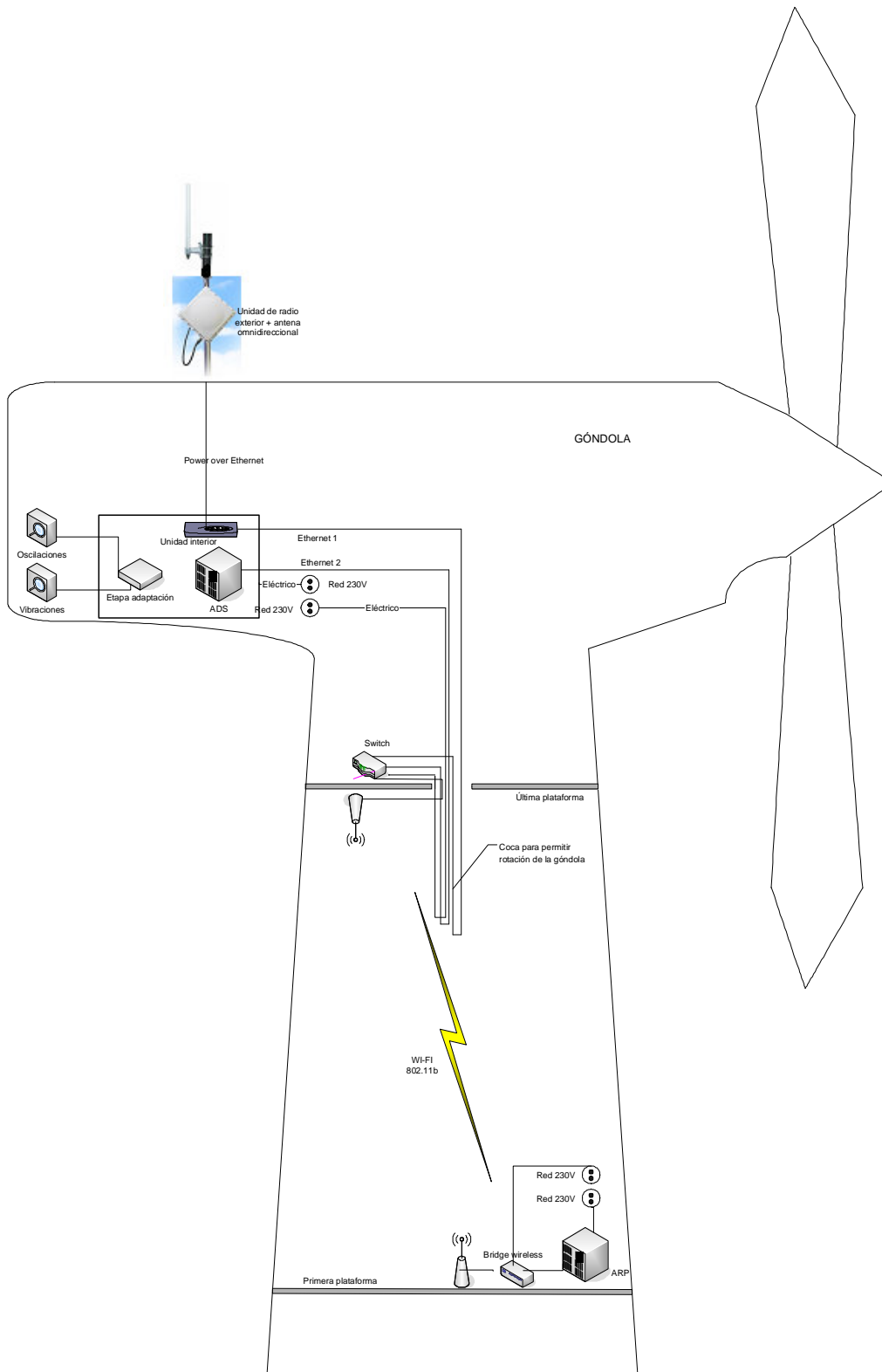


Imagen 4: Estructura del sistema de comunicaciones en el aerogenerador



4.2. Comunicaciones entre el ARP y el centro de control de parque

Los enlaces de comunicaciones entre los distintos ARP y el sistema de gestión central del parque son los encargados de transmitir la información captada y procesada por la red de control de cada aerogenerador.

Para desempeñar este cometido, en la memoria descriptiva del presente documento se presentaba al estándar **WIFI 802.11a** como la solución más apropiada, ya que el uso de **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) dota a las comunicaciones de una **gran robustez** frente a interferencias multitrayecto en enlaces al aire libre. Sin embargo, el empleo de altas frecuencias limita el alcance de esta tecnología, por lo que se decidió sustituirla por la **802.11g, menos robusta pero con mayor alcance**.

Las distancias que separan los aerogeneradores del centro de control pueden alcanzar hasta un kilómetro, situación que parece invalidar la elección anteriormente hecha. Este problema se soluciona colocando las antenas de transmisión en el techo de la góndola (a unos 50 metros de altura), con lo que se aumenta el alcance del enlace.

El empleo de tecnologías que ofrecen mayor rango de cobertura se descartó, en el caso de **UMTS** por su **baja tasa de transferencia**, y en el de **WIMAX** por su **alto coste** en comparación con WIFI.



Imagen 5: Antenas de comunicaciones del aerogenerador con el sistema de control de parque



4.3. Protocolos de comunicaciones

Para dar soporte a las transmisiones de información entre los distintos elementos de la red de control del aerogenerador y el centro de gestión de parque, se desarrollará un protocolo propio de comunicaciones sobre TCP y UDP:

- **UDP:** permite el envío de información sin necesidad de establecer conexión entre los equipos transmisor y receptor. Este protocolo será utilizado para implementar los **mecanismos de sondeo de red**. Mediante el envío de tramas a la dirección de broadcast, el centro de gestión de parque podrá determinar el estado de los enlaces de comunicaciones con los distintos analizadores de red. Así mismo, permitirá descubrir analizadores recién instalados o recuperar la comunicación con los analizadores después de una interrupción en el enlace, suministrando información sobre sus configuraciones de red para permitir establecer posteriormente enlaces TCP.
- **TCP:** protocolo para la **transmisión fiable de información** entre dos puntos mediante el establecimiento de sesiones. Dota al sistema de los mecanismos necesarios para el intercambio de las tramas portadoras de la información.

Sobre TCP se implementarán dos tipos de transmisiones de información:

- **Transmisiones con asentimiento** por parte del ARP: se utilizarán para el envío de las **tramas de configuración** de los distintos parámetros del analizador así como para las **peticiones** por parte del centro de gestión para que el ARP ejecute alguna acción. Hay que reseñar que TCP garantiza la entrega de las tramas enviadas sin errores; los asentimientos se generan por los ARP una vez ejecutada la orden o cambiada la configuración para notificar al centro de control que la nueva configuración/acción ha sido procesada.
- **Transmisiones sin asentimiento:** se utilizarán para el intercambio de tramas de **datos**. TCP proporciona los medios necesarios para solventar las limitaciones en el tamaño de las tramas de datos impuestas por los periféricos de comunicaciones de los analizadores de red. Permite el envío de grandes cantidades de datos a través de **estructuras multitrama**, garantizando que no se pierda ninguna y la entrega en orden de todas ellas.



Para poder establecer conexiones TCP, además de los mecanismos de sondeo de direcciones IP facilitados por UDP, es necesario establecer una **configuración de red** con direcciones estáticas que se puedan asignar dinámicamente, es decir, que cada vez que un analizador se resetee o sea insertado en la red de control pueda obtener una dirección IP preestablecida. Esto se conseguirá mediante el empleo de un servidor de direcciones IP **DHCP**.



5. Sistema de gestión y control central de parque

El sistema de gestión y control de parque constituye el centro en el que se **recibe, procesa y almacena la información procedente de todos los analizadores de red** instalados en un parque. Así mismo, implementa la **interfaz** que permite al operador, desde cualquier terminal conectado a la intranet de la empresa, monitorizar en tiempo real blando los valores recogidos por los analizadores de red instalados en los aerogeneradores del parque eólico, analizar los valores históricos, solicitar a los ARP el envío de estudios de calidad de la energía eólica producida y configurar los parámetros de funcionamiento de los analizadores.

Como ya se ha comentado en la introducción del presente documento, debido a las múltiples ventajas que presenta, se decidió implementar el sistema de control a partir de **tecnologías de fuentes abiertas**, que permiten **superar las limitaciones de los sistemas basados en SCADAS propietarios**, haciendo posible:

- Capacidad de procesado de elevados volúmenes de información en tiempo real
- Capacidad para trabajar con múltiples tipos de datos
- Agrupamiento y procesado de datos por patrones que definen conjuntos de datos
- Alta escalabilidad del sistema, eliminando las restricciones en cuanto al número máximo de puertas del sistema
- Utilización de bases de datos de fuentes abiertas optimizadas para el tratamiento de altos volúmenes de información
- Utilización de protocolos estándares no propietarios de comunicaciones

El diseño del sistema de control central se divide en tres bloques funcionales recogidos en el diagrama de la imagen 3. Todos ellos están instalados sobre el servidor principal Linux del sistema.

- **Base de datos:** su misión consiste en almacenar los históricos de los datos así como la información de configuración del sistema.



- **Núcleo y plugins:** aplicaciones encargadas de realizar el tratamiento y **procesado de la información recibida de los analizadores**, del almacenamiento de los datos en la base de datos y de la gestión las **comunicaciones** con los analizadores de red.
- **SCWEOCEN: interfaz visual** encargada de recuperar la información de la base de datos, formatearla y presentarla al operador. Así mismo permite la interacción del operador con el sistema presentado los menús necesarios para generar las órdenes a enviar a los analizadores.

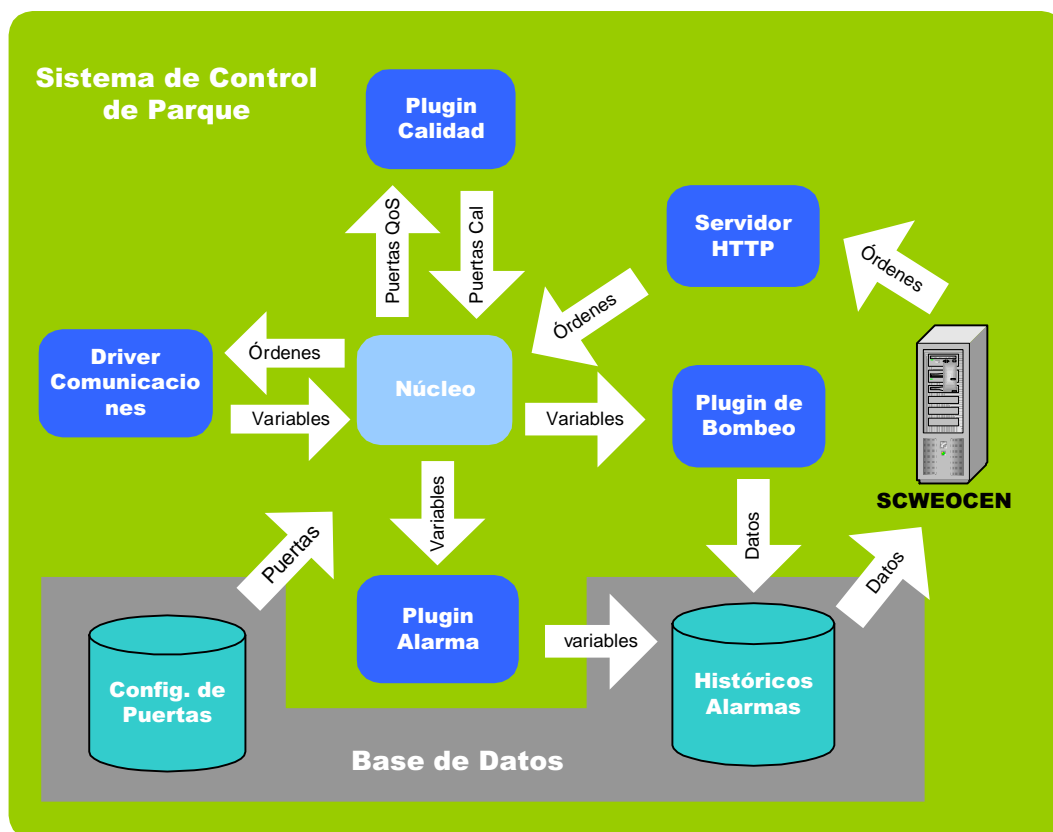


Imagen 3: Diagrama de bloques del sistema de control central de parque

5.1. Base de datos

Al prescindir del uso de SCADAS tradicionales, que contienen métodos propios de almacenamiento de los datos, surge la necesidad de introducir en el sistema una base de datos que permita el almacenamiento de los históricos de los datos para permitir análisis posteriores sobre los mismos. Esta base de datos será también aprovechada para



salvaguardar los parámetros de configuración del sistema y para mantener la información referente al parque controlado: número e identificadores de las maquinas, direcciones IP de los analizadores de red...

A la hora de elegir la distribución a utilizar se realizó un estudio de las bases de datos **relacionales de fuentes abiertas** actualmente existentes en el mercado, PostgreSQL y MySQL. La comparativa entre ellas queda reflejada en la tabla número 3:

Criterio	PostgreSQL	MySQL
Soporte Linux	Si	Si
Soporte PL - SQL	Si	Si. No soporta triggers
Velocidad	Media	Alta
Volumen de datos	Escalabilidad alta	Escalabilidad media
Integridad	Soportada	No
Transacciones	Soportadas	No
Potencia	Alta	Alta
Ventajas	Transacciones Integridad Escalabilidad	Velocidad
Inconvenientes	Velocidad	No soporta triggers ni transacciones ni integridad relacional

Tabla 3: Comparativa entre PostgreSQL y MySQL

Tras analizar las necesidades que impone el sistema sobre la base de datos se optó por utilizar la **PostgreSQL**, ya que está **optimizada para trabajar con grandes volúmenes de datos y ofrece más seguridad y robustez** que MySQL a costa de limitaciones en la velocidad.

Para tratar de compensar la carencia de velocidad, se intentará **optimizar el rendimiento** de la base de datos mediante la organización de la información, en función del número de



inserciones de cada variable, en **tres tablespaces** que serán almacenados en discos duros distintos: uno para datos estáticos de sólo lectura, otro para datos con un elevado numero de accesos en lectura y reducido en escritura, y el último para aquellos que tengan un elevado número de accesos en escritura y reducido en lectura.

El último requisito que debe cumplir la base de datos es **permitir futuras ampliaciones** del sistema. El prototipo experimental de EOEN trabaja sobre dos aerogeneradores del parque eólico de Tahivilla, pero en un futuro está previsto ampliar el sistema a nuevos parques eólicos de distintas regiones, por lo que se prevé alcanzar **varios niveles de jerarquía** en la aplicación:

- Nivel de parque: control de los datos de los aerogeneradores instalados en un mismo parque eólico. Es el implementado en el prototipo experimental de EOEN.
- Nivel de Nodo: alcanza al control de los datos de todos los aerogeneradores de los parques en explotación pertenecientes a un mismo nudo.
- Nivel de región: control de los datos de todos los aerogeneradores de los distintos nodos que componen la región.
- Nivel de sistema: aglutina el control de los aerogeneradores instalados en los parques de todas las regiones de un país controlados por un mismo promotor.

Con la finalidad de garantizar la escalabilidad de la base de datos, se definió una **nomenclatura ortogonal** para las variables, cuya estructura es:

Sistema_Region_Nudo_Parque_Máquina_Tipo_Variable

5.2. Sistema de visualización SCWEOEN

Durante la fase de diseño de la interfaz visual encargada de presentar los datos al operador se decidió apostar por el desarrollo de una **aplicación Web**, solución que permite el control del sistema desde cualquier ordenador conectado a la intranet del promotor del parque, con el consiguiente ahorro de recursos y personal, ya que un único operador con un PC podría supervisar el funcionamiento de todos los parques.



Otro de los factores que ayudó a la elección de esta solución es la elevada potencia y fácil manejo de las tecnologías Web disponibles en el mercado, que posibilitan la implementación de los accesos a la base de datos para la recuperación de la información, el formateo de la misma, la elaboración de herramientas visuales que permitan al operador la monitorización del sistema, etc.

La estructuración de los contenidos de la aplicación Web se hará tomando como punto de partida el nivel de jerarquía de parque, es decir habrá:

- **Páginas con información de parque:** mostrarán los resúmenes de las energías y potencias del conjunto de máquinas que componen el parque y las alarmas generadas en dicho parque.
- **Páginas con información de máquina:** presentarán los datos referentes a los parámetros trifásicos de la máquina, tanto actuales como históricos, los estudios de calidad enviados por cada ARP y los eventos configurados y la relación de cyclics que se guardan de cada máquina.

La implementación de los niveles superiores de jerarquía se realizará en fases posteriores del proyecto.

5.2.1. Tecnologías empleadas

La tecnología base empleada en el desarrollo del SCWEOCEN es **JSP** [5] (Java Server Pages), que **permite integrar la potencia de la programación Java** y de las librerías y paquetes ya desarrollados en este lenguaje en las páginas HTML para dotarlas de dinamismo. La única alternativa al uso de JSP con la versatilidad necesaria para implementar un sistema de estas características es ASP, sin embargo, esta última presenta serias desventajas que la descartan para los propósitos del proyecto: es una tecnología propietaria y sólo funciona bajo entornos Windows. Por el contrario, JSP constituye una tecnología de **fuentes abiertas, multiplataforma** de fácil portabilidad y mantenimiento.

JSP y sus extensiones, **Java Beans y Servlets**, aportan las herramientas necesarias para realizar los accesos a bases de datos e implementar la mayoría de los motores de la aplicación. Sin embargo, requiere del apoyo de otras tecnologías:

- **XML** (Extensible Markup Lenguaje): lenguaje extensible de etiquetas que permite separar el contenido de la información de la representación de la misma. La gran



ventaja que aporta el uso de XML consiste en que **facilita las operaciones de procesado de la información**, al presentarla contenida en etiquetas y sin información sobre el formato. Se utiliza para realizar el tratamiento de la información obtenida como resultado de los accesos a la base de datos.

- **JavaScript** [6]: lenguaje interpretado de fácil manejo que se ejecuta directamente en el navegador del equipo cliente. Permite la implementación de las funciones necesarias para **interactuar con el operador**, tales como generación de menús, formularios, botones, refresco de páginas ...
- **CSS** (Cascading Style Sheets): diseñada para **independizar el contenido de las páginas JSP de los atributos de estilo** que se aplican a cada elemento que las compone, así como la reutilización de los estilos definidos en diversos elementos y páginas.

De entre lo múltiples servidores contenedores de JSP de fuentes abiertas existentes en el mercado se optó por utilizar la versión más actual de **Apache Tomcat**, por a motivos técnicos, como su gran potencia, alta seguridad y fácil manejo, y también debido a la experiencia en la instalación, configuración y manejo del mismo adquirida durante la ejecución de proyectos previos. Para su funcionamiento requiere la instalación de **JDK** (Java Development Kit), que contiene, además de la máquina virtual Java para la ejecución de las aplicaciones, las herramientas necesarias para la compilación de las clases.

5.2.2. Motores de la aplicación

Un motor es conjuntos de clases Java, Java Beans, Servlets y clases JavaScript que resuelven una problemática determinada, de forma que ésta sea totalmente transparente al resto del sistema de visualización, cuyos elementos pueden utilizar la funcionalidad implementada a través de una interfaz.

La idea consiste en desarrollar herramientas que puedan ser utilizadas en cualquier momento y desde cualquier punto de la aplicación, evitando tener que implementarlas en cada página en las que haga falta.

Tras analizar las necesidades de la aplicación, se decidió crear los siguientes motores:



- **Motor de conexión a base de datos:** su misión es liberar al resto de módulos de todas las tareas relacionadas con el acceso a la base de datos. Presenta una interfaz muy sencilla que requiere como único parámetro una cadena con una sentencia SQL y devuelve los resultados de la consulta.
- **Motor de gráficas:** motor diseñado para representar los datos del sistema a través de gráficas de puntos (una o varias variables, cada una con su eje) o de barras (para la representación de espectros). Permite configurar prácticamente todos los parámetros de la gráfica a representar mediante el paso de parámetros por la URL: tamaño, variables a representar, colores de cada una, dominio y rango de los ejes, etiquetas...

Para facilitar la implementación de este módulo, se desarrollará a partir del paquete de fuentes abiertas *JFreeChart*.

- **Sistema y Repositorio:** son dos Beans que mantienen respectivamente la configuración del sistema estática (estructura y características del sistema en los parques instalados) y la dinámica en tiempo de ejecución (en el dominio de la sesión).
- **Actualización de datos:** motor que, tomando como parámetros el periodo de refresco y las variables mostradas en la pantalla, se encarga de actualizar los datos contenidos en la pantalla de forma periódica. Permite especificar el formato deseado para cada dato y el periodo de refresco.
- **Motor de envío de órdenes:** presenta una interfaz para el envío de órdenes de forma totalmente transparente al resto de módulos del SCWEOCEN. Se encarga de establecer la conexión con el plugin del núcleo encargado del procesado de las órdenes, y del formateo y envío en tramas de los parámetros necesarios para que dicho plugin sea capaz de generar la orden.

5.3. Núcleo y plugins

Este bloque funcional es el encargado de realizar todas las actividades referentes al **procesado de datos** en el sistema de control central y a la **transmisión y recepción de información** hacia y desde los analizadores de red.

Esta constituido por una única **aplicación**, el núcleo, y un conjunto de **librerías dinámicas**, plugins, desarrolladas en ANSI C++ y compiladas con la herramienta g++ para permitir su funcionamiento sobre plataformas Linux.



El diseño aplicación – librerías dinámicas se realizó buscando conseguir un sistema lo más **modular** posible, implementado cada uno de los plugins las funciones necesarias para satisfacer una necesidad determinada. De esta forma, la tarea de añadir una nueva funcionalidad al sistema se reduce a desarrollar un plugin que la resuelva y configurar al núcleo para que lo incorpore al sistema.

El **núcleo**, al arrancar consulta la lista de librerías dinámicas que tiene configuradas e inicia todos los plugins, generando por cada uno de ellos una tabla de variables suscritas. Los plugins, al ser llamados por el núcleo, le indican las variables cuyo tratamiento tienen asignado, quedando éstas almacenadas en las tablas internas del núcleo. La única misión del núcleo a partir de ese momento es la de **despachar las variables** que recibe el sistema a los plugins que se encuentran suscritos a dichas variables.

La estructura de este bloque, los plugins que lo componen y las relaciones establecidas entre cada uno de ellos y el núcleo quedan reflejadas en la figura de la imagen 3.

- **Driver de comunicaciones:** plugin encargado de las tareas referentes al intercambio de información con los ARP que componen el sistema. Implementa los protocolos de comunicación desarrollados, presentando una interfaz de comunicaciones totalmente transparente al resto de módulos del sistema.
- **Módulo de bombeo:** aplicación cuya misión es **realizar las inserciones** periódicas de los datos recibidos de los ARP y ADS o procedentes del módulo de cálculo en las tablas de la **base de datos**. El bombeo es de tipo **multivariable por tabla**, es decir, en una tabla se almacenan los valores de múltiples variables, provenientes de un único origen de datos, en diferentes instantes del tiempo. Este tipo de bombeo facilita el almacenaje de todos los datos procedentes de una trama de datos enviada por un ARP, reduciendo el número de inserciones y el tamaño de la caché necesaria para el almacenaje temporal de los datos.
- **Módulo de cálculo:** programa encargado de hacer los cálculos necesarios sobre las variables recibidas antes de que estas sean almacenadas. Este módulo es el responsable de realizar los algoritmos estadísticos sobre los estudios de calidad recibidos.
- **Plugin de envío de órdenes:** servidor HTTP encargado de recibir y procesar las tramas generadas por el módulo de envío de órdenes del SCWEOCEN con los parámetros e identificadores de cada orden.



- **Módulo de alarmas:** aplicación cuya misión es realizar un seguimiento de las variables, garantizando el cumplimiento de determinadas condiciones sobre ellas. Caso de violarse alguna condición, genera una alarma, notificándolo al resto de módulos involucrados y guardando un registro en la base de datos.

Los distintos parámetros que configuran el funcionamiento de cada uno de los módulos se almacenan en un esquema de la base de datos específico para los datos estáticos de configuración y se cargan al arrancar la aplicación. Esto permite modificar la configuración sin tener que recompilar las librerías.