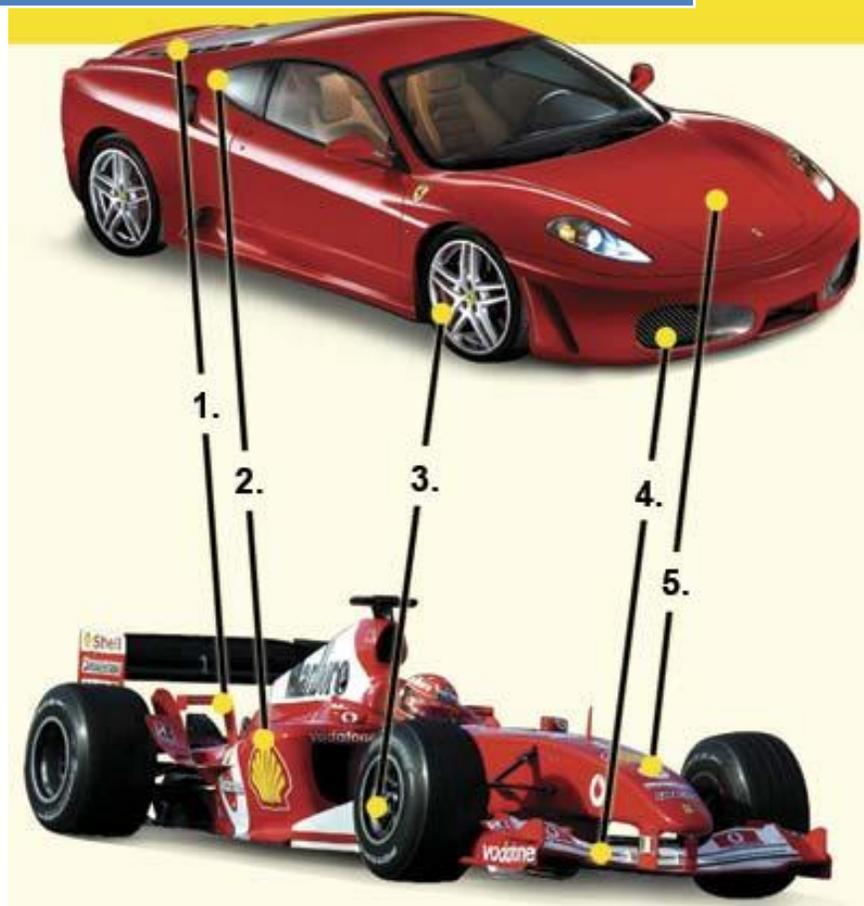




SENSORES DE FÓRMULA 1

De los circuitos a la carretera



Alberto Sáenz Gonzalo 554273@unizar.es

2009-2010

Informática Industrial

Ingeniería en Informática

Centro Politécnico Superior

Universidad de Zaragoza

Aragón, España

Proyecto:

Sáenz Gonzalo A. *Sensores de Fórmula 1. De los circuitos a la carretera* (2010), Ing. Informática, CPS, Universidad de Zaragoza, Aragón, España

Asignatura:

Informática Industrial

Carácter:

Optativa de segundo ciclo.

Departamento y Área:

Dpto.: Informática e Ingeniería de Sistemas

Área: Ingeniería de Sistemas y Automática

Profesor:

José Ramón Asensio Diago

ÍNDICE

1. Introducción.....	Págs. 1-2
2. El camino de la información.....	Págs. 3-9
2.1 <u>Transductor</u>	Págs. 3-5
2.2 <u>Acondicionamiento de la señal</u>	Págs. 5-8
2.3 <u>Visualización de la señal</u>	Págs. 6-9
3. Sensores.....	Págs. 10-16
3.1 <u>Dinámica Vehicular</u>	Págs. 12-13
3.1.1 <u>Velocidad</u>	Pág. 12
3.1.2 <u>Acelerómetros</u>	Págs. 12-13
3.2 <u>Prestaciones del motor</u>	Págs. 13-15
3.2.1 <u>Temperatura</u>	Pág. 14
3.2.2 <u>Revoluciones</u>	Págs. 14-15
3.2.3 <u>Autonomía</u>	Pág. 15
3.3 <u>Suspensión, neumáticos y frenos</u>	Págs. 15-17
3.3.1 <u>Suspensión</u>	Pág. 16
3.3.2 <u>Neumáticos</u>	Pág. 16
3.3.3 <u>Frenos</u>	Pág. 17
4. Conclusión.....	Págs. 17-21

Anexo: Bibliografía y Documentación

Sensores de Fórmula 1

De los circuitos a la carretera

Alberto Sáenz Gonzalo

*Ingeniería en Informática, Centro Politécnico Superior
Universidad de Zaragoza, Aragón, España*

554273@unizar.es

Resumen

Por todos es conocida la importancia de la obtención, manejo e interpretación de la información en la *Fórmula 1*. Gracias al uso de la tecnología, podemos conocer numerosos parámetros de los monoplazas. Dicha labor la realizan los sensores, que son capaces de obtener una medición sobre una determinada magnitud física. Este trabajo ahonda en uno de los apartados que la *Telemetría* engloba; centrándose más en el nivel físico explicando cómo actúan los sensores y cómo se depura la información recogida por los mismos.

Palabras Clave: *Sensor, ECU, BUS, señal analógica, señal digital, muestreo, tiempo real, input, output...*

1. Introducción

Hasta los años 80, prácticamente los únicos indicadores que llevaba incorporado un F1 eran un velocímetro, un cuentarrevoluciones y un medidor del nivel de combustible o del aceite (todos ellos de aguja). Fue entonces, cuando los ingenieros se dieron cuenta que incorporando la electrónica a los monoplazas, podían conocer en tiempo real magnitudes del vehículo para prevenir o dilucidar las causas de una avería o incluso para mejorar el rendimiento.

La utilización de sensores ya venía siendo usada en otras disciplinas como la aeronáutica o los procesos industriales; su incorporación a la F1, unida al despegue de la informática en la década de los ochenta, hizo de esta disciplina algo más parecido a la alta tecnología que a un deporte. A medida que iban pasando las temporadas, cada vez se incorporaban más y más dispositivos distribuidos por todo el monoplaza. Y al mismo tiempo que avanzaban y se volvían más sofisticados los equipos electrónicos, cada vez era más necesario procesar todos y cada uno de los datos recogidos en cada carrera. Además de elaboradísimos sistemas telemétricos, muchos equipos adquirieron supercomputadores industriales (**ver Ref. 1**) con los que poder analizar grandes volúmenes de datos en espacios de tiempo relativamente cortos.

Tal es el caso del fabricante alemán de automóviles BMW, que compró a la californiana Intel un superordenador, bautizado como *Albert2*, con una memoria principal (no confundir con almacenamiento en disco duro) de 2048 GB y caché de 4GB entre todas las CPU; lo que le permite realizar 12.288 Giga Flops/segundo, que traducido “al cristiano” supone 12.288.000.000.000 operaciones por segundo. Posteriormente, Renault adquirió el *Xtreme-X1 Supercomputer*, basado en tecnología *Intel Xeon* (ver Ref. 3), tres veces más potente capaz de realizar 38.000 Giga Flops/segundo gracias a sus 128 CPUs y 6TB de memoria principal. Siendo ambos miles de veces más potentes que los computadores personales de los que podemos disponer.



Fig. 1 Súper-Computador *Albert2* de *BMW SAUBER*. © *BMW SAUBER*

Por ello, a lo largo del texto veremos cómo evoluciona la información registrada por los sensores hasta que es visualizada por los ingenieros desde el *box* del equipo o desde el volante del piloto.



Fig. 2 Ingenieros del equipo *Williams F1* analizando la Telemetría. © *Williams F1 Team*

2. El camino de la información

Desde que un sensor mide una magnitud física, hasta que ésta es visualizada en el volante del piloto o en los computadores de los ingenieros, es necesario seguir una serie de pasos que componen el proceso llamado *Adquisición de Datos*. El esquema general a seguir es el siguiente:

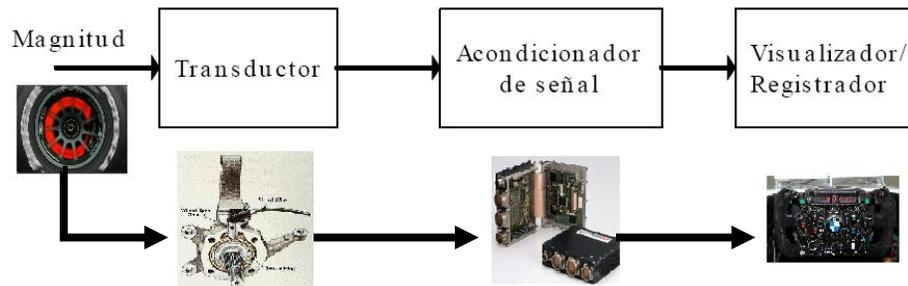


Fig. 3 Camino de Datos en la F1

2.1 Transductor

Un dispositivo llamado *transductor* o *sensor* se encarga de medir una cantidad, magnitud física o propiedad, a dicha magnitud o propiedad la llamamos *input* o *entrada*. Pero claro está, la información que manejan los dispositivos electrónicos se basa en la representación de señales eléctricas. Es por ello, que dichos sensores proporcionan una *salida* u *output* que es una señal eléctrica a interpretar.



Fig. 4 Sensor de humedad y temperatura. © McLaren Electronics

Los hay de muchos tipos: captadores, sondas (inmersos en un fluido, por ej.: gasolina), -metros (caudalímetros, tacómetros etc.). Pero casi todos ellos presentan un pequeño problema: la salida que producen estos sensores (**ver Fig. 4**), es una *señal analógica* (función matemática continua que puede variar su amplitud y su período en función del tiempo), y los computadores usados en la F1 se basan en circuitos digitales que solo saben interpretar 1s y 0s (*señal digital*).

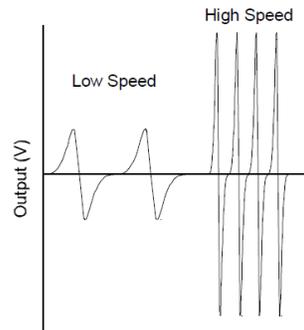


Fig. 4 Señal analógica de salida producida por sensor de velocidad

Además, la señal producida por un sensor puede no ser limpia (**ver Fig. 5**), bien debido a la contaminación electromagnética o a una vibración mecánica producida por algún mecanismo del monoplaza (imaginemos las vibraciones que produce en el monocasco un motor V8 de 800CV girando a 19000 rpm, además de la sensibilidad de los sensores de F1).

Por tanto, es necesario algún tipo de ingenio que transforme la señal analógica a digital (*conversión AD*) y que elimine (**ver Fig. 5**) el ruido indeseable (*filtrado*). También hay que tener en cuenta el problema del *Aliasing*, es decir, que estemos muestreando una señal a una frecuencia menor del doble de la máxima frecuencia de la señal muestreada (*Teorema de Nyquist*), y por tanto la señal reconstruida que obtengamos sea una señal deformada.

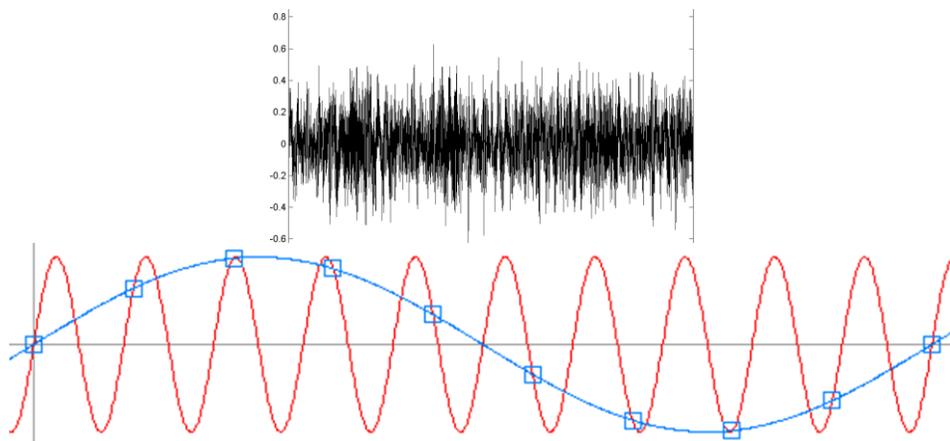


Fig. 5 Señales con ruido (arriba) y *aliasing* (abajo)

Incluso disponiendo de dispositivos que nos ayuden a conseguir información más fiable (como se verá en el siguiente sub-apartado), es importantísimo el mantenimiento de los dispositivos que actúan como medidores de señal, a los que hay que evitarles exposición al calor excesivo (un motor de F1 se encuentra en estado de incandescencia funcionando a altos regímenes de giro), a la suciedad (imaginemos el hollín que se acumula en las pinzas de freno), rango de tensión de funcionamiento adecuado para el sensor etc. y toda recomendación marcada por el fabricante; precauciones sin las cuales no importa los mecanismos para salvar estas fuentes de distorsión de señal. De hecho, fruto de este ambiente de trabajo en las condiciones más extremas, es necesario que los materiales empleados sean de primerísima calidad; de hecho, para sensores provenientes de fabricantes reputados (Bosch, McLaren Electronics, Magnetti Marelli...), es raro encontrar costes de adquisición inferiores a los 300€ por unidad.

2.2 Acondicionamiento de la señal

El problema anterior queda resuelto, en parte, con los *acondicionadores de señal* que nos permiten manipular la señal en un formato donde la información es limpia (*filtrada*) y computable por un ordenador (ya en formato digital). Esta transformación se produce gracias a unos dispositivos llamados *DSP* (*Digital Signal Processor* o *Procesador Digital de Señal* (**ver Ref. 12**)), que tienen la siguiente actuación (**ver Fig. 6**):

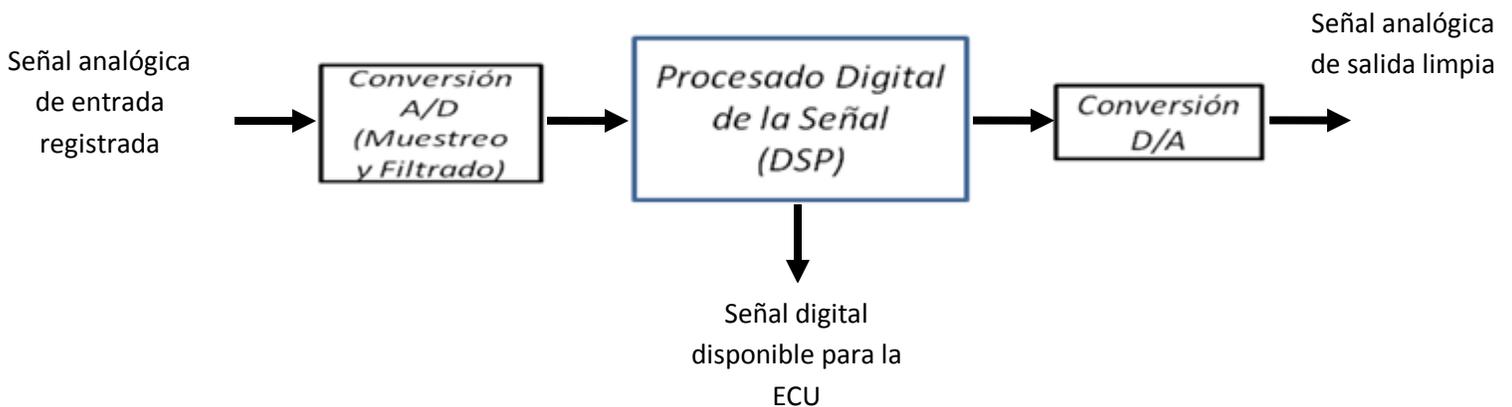


Fig. 6 Procesado digital de la señal llevado a cabo por un *DSP* © Alberto Sáenz Gonzalo

- i. El sensor ha registrado una determinada magnitud y se encarga de proporcionarla como entrada al *DSP* en formato analógico, el *DSP* la codifica a formato digital (recordemos, binario 1s y 0s) *muestra* (toma pequeños trocitos de la señal, siempre con una frecuencia dos veces mayor al ancho de banda de la señal (**ver Ref. 7**)) y filtra aquel ruido que no deseamos y que pueda distorsionar nuestra señal.
- ii. Una vez que hemos hecho la conversión analógico-digital, ya tenemos un pedazo de información que ya podemos suministrar a la ECU. Cada paquete de datos suministrado a la ECU suele tener una resolución de 12 bits.
- iii. Además un *procesador digital de señal*, puede devolver nuevamente la señal de entrada, en formato analógico, a través de una salida nuevamente en formato analógico, pero ahora libre de imperfecciones. (*Conversión Digital/Analógico*)

Estas *DSP* suelen estar integradas dentro de la ECU o en unidades intermedias llamadas *interfaces*. Las razones por las que se utilizan los *DSPs* como unidades intermedias entre los sensores y las unidades computacionales de la ECU son principalmente tres:

1. Debido a la gran cantidad de información que registran los sensores es innecesario sobrecargar los dispositivos de almacenamiento de información (memoria *SRAM* de 1MB y memoria flash de 1GB) de la ECU con información que no necesita ser procesada por ésta y que directamente puede ser enviada a dispositivos de visualización como el volante (velocidad, revoluciones...). Incluso pueden existir unidades extra de almacenamiento de datos llamados *Data Loggers* a los que se les va enviando datos a lo largo de la carrera para ir liberando los recursos de almacenamiento de la unidad principal.
2. Además de no saturar los mecanismos de almacenamiento de la ECU, tampoco es necesario saturar su procesador con información (2 procesadores con arquitectura *PowerPC* de 40Mhz, para control de dispositivos y adquisición de datos, y para comunicaciones respectivamente), porque al interrumpir el trabajo realizado por la CPU para enviarle información, además de la carga de trabajo que se acumula, supone una penalización en el tiempo de cálculo perdido; y en una disciplina como los *Sistemas en Tiempo Real*, donde la administración de un recurso como el transcurrir del tiempo es algo valiosísimo, es necesario cuidar este tipo de aspectos y, todavía más si su aplicación es la Fórmula 1.

- Debido a la variedad de dispositivos y protocolos asociados a ellos, las interfaces son muy importantes para cambiar el rango de tensión de salida de cada señal para distintos aparatos y unificar un mismo tipo de señal de entrada para ser procesada por la *Unidad de Control Electrónico*. La mayoría de las ECUs tienen como entrada señales comprendidas en el rango [0-5] Voltios (**ver Ref. 13**), pero es probable que otros equipos electrónicos funcionen en franjas diferentes.



Fig. 7 Unidad intermedia sensores-ECU SIU-400 © McLaren Electronics

Para adecuar el gobierno de los recursos limitados de la ECU, se dispone de un Sistema Operativo de Tiempo Real (*RTOS*) *TAGOS 32 bit* que realiza múltiples tareas ya de por sí costosas y que no necesita ser sobrecargado: controlar un motor con disposición V8, una caja de cambios que funciona bajo control electrónico y que cambia de marcha en cuestión de centésimas, sistema hidráulico... Todas las unidades electrónicas del vehículo se encuentran conectadas mediante un *CAN-BUS* (tipo de conexionado de componentes electrónicos (**ver Ref. 9**)) que permite una tasa de transferencia entre componentes de hasta 1Mbps. De esta manera el camino general seguido por la información es el indicado en la *figura 8*.

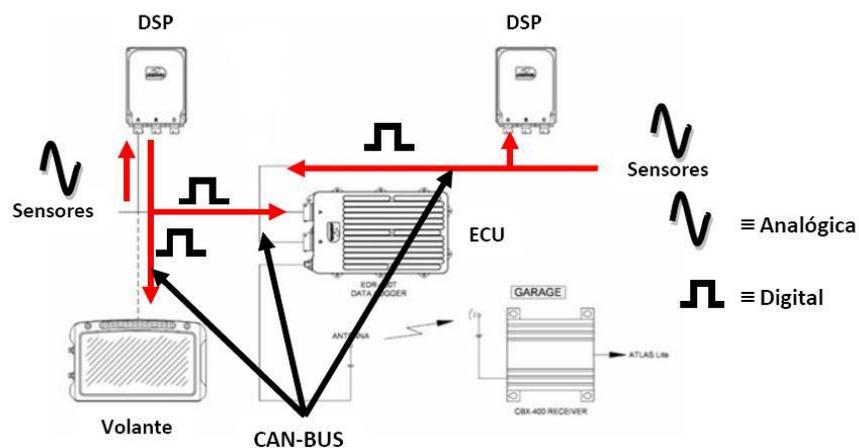


Fig. 8 Camino de la información entre dispositivos

Para comunicarse con el exterior vía cable (**ver Fig. 9**), la actual ECU estándar de la F1, fabricada por el departamento de electrónica de la británica McLaren y obligatoria para todos los equipos participantes en el Mundial de F1, posee un puerto de salida tipo *Ethernet* (tasa máxima de 100Mbps), un puerto *RS-232* (tasa máxima de 230 Kbps) y dos puertos *CAN-BUS 2.0B* (tasa de máxima de 1Mbps); también existe la posibilidad de comunicación de forma inalámbrica vía antena. Como fuente de información, la *Unidad de Control Electrónico* posee 32 entradas analógicas (En este caso la DSP se encuentra integrada) y 10 digitales.

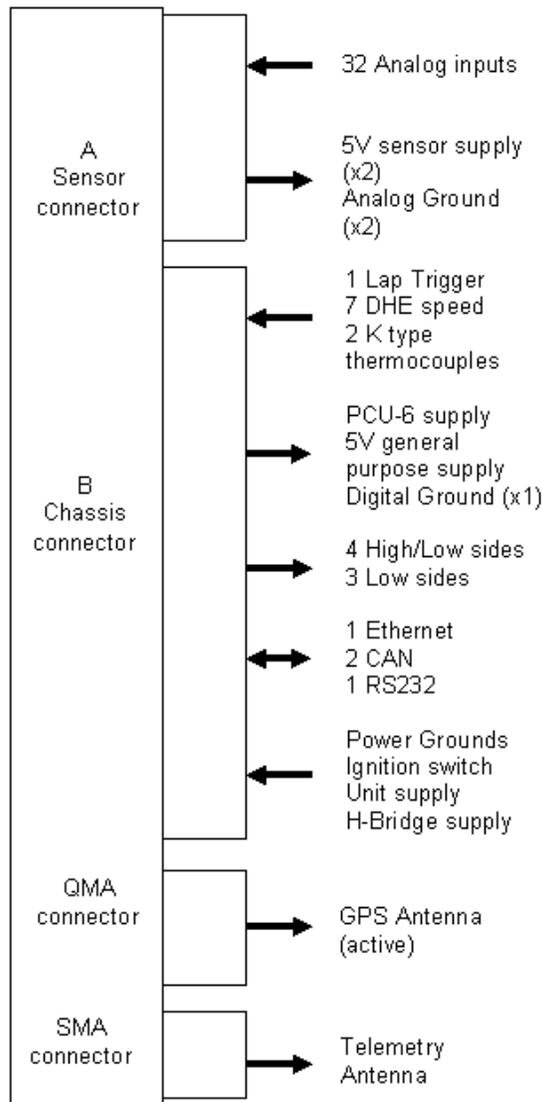


Fig. 9 Entradas y salidas de la actual ECU de la F1 EDR-400. © McLaren Electronics

2.3 Visualización de la señal

El último paso a dar, es hacer la información manejada entendible para los seres humanos, ya que no tendrían ningún sentido todos los pasos anteriores, si con ellos no pudiésemos hacer los datos recogidos interpretables por el piloto o ingeniero de turno. Al piloto se le ha de mostrar información relativa a la conducción sobre velocidad, revoluciones, cambio de marcha, tiempos por vuelta...en su volante instalado en el *cockpit*.



Fig. 10 Volante del *BMW-Sauber F1.09* © FIA

Para los ingenieros, más interesados en parámetros técnicos, existe una serie de herramientas software (como el software de telemetría *Atlas* de McLaren *Electronics*) que permiten visualizar datos relacionados con la presión del aceite, temperatura del motor, nivel de combustible...en todo momento, para saber cuál es la mejor estrategia a tomar, y también para prevenir averías futuras. Es por ello, que los sistemas de información instalados en un F1 disponen de puertos donde conectar sistemas de almacenamiento de información (puertos RS-232 o conexiones para tarjetas extraíbles SD, USB etc.) con los que los especialistas puedan portar los datos para su análisis posterior, fruto del código generado por la ECU. Por otra parte, a través del software se pueden calibrar los sensores o introducir órdenes a la ECU mediante lenguajes de programación como SPARK (versión “empotrada” de ADA, lenguaje usado en los cohetes por la NASA y por la USAF en sus cazas) o Simulink (entorno de programación visual de Matlab).



Fig. 11 Ingenieros de *Renault* analizando la telemetría de Fernando Alonso. © Renault F1

3. Sensores

Si los ingenieros lo desearan, podrían llegar a monitorizar cientos de sensores, aunque en cada carrera, suelen medirse alrededor de 25-30 fuentes de información (**ver Ref. 2**) repartidas por todo el coche. Algunos de los sensores instalados en los monoplazas pueden registrar más de 100 millones impulsos por segundo (100MHz) para producir un volumen de datos de alrededor de 1Mb/vuelta (**ver Ref. 2**), pudiendo llegar a producirse en cada carrera hasta 70Mb de información que pueden incluso ser descargados en tarjetas de memoria SD (**ver Fig. 11**), como pueden llevar nuestras cámaras fotográficas. En un principio puede no parecer un gran volumen de datos, pero hay que tener en cuenta que los equipos electrónicos de la Fórmula 1 disponen de recursos críticos, y por tanto no pueden realizar un despilfarro del espacio de almacenamiento.



Fig. 12 Registrador de datos en tarjeta SD Data TAG © McLaren Electronics

Así mismo, todos los datos registrados por el *Sistema de Adquisición de Datos* son enviados, vía inalámbrica, para ser analizadas en tiempo real en el BOX del equipo. El envío se realiza desde una antena microondas (banda UHF comprendida entre 1,45-1,64 GHz), colocada en el morro (**ver Fig. 15**) del coche, a otra receptora colocada en el muro de boxes (**ver Fig. 13**) que interpreta la señal analógica enviada bajo modulación por desplazamiento de fase PSK (desde QPSK hasta 16PSK, labor D/A de la DSP); el motivo principal para usar este tipo de modulación, es el de evitar la influencia del ruido electromagnético. Además, debido a la posible existencia de zonas del circuito con mala comunicación con los boxes, se disponen una serie de repetidores que reflejan la señal para que llegue sin problemas hasta el *pit-lane* (hay que recordar que las microondas no traspasan los sólidos). Los equipos no solamente están pendientes de lo que pueda pasar en la propia carrera, sino que dichos datos son reenviados vía satélite a la fábrica para que sean analizados por los supercomputadores para buscar futuras mejoras en los monoplazas para las próximos grandes premios.

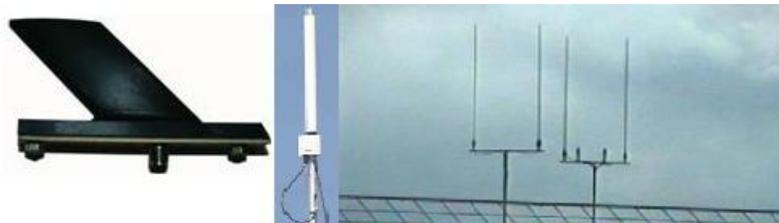


Fig. 13 Antena emisora (izquierda), receptora (centro) y repetidores (derecha). © McLaren Electronics

Como curiosidad, comentar que cada vez que los monoplazas pasan por la recta de meta, pequeños trozos de información como nº de vuelta o tiempo por giro son descargados vía ondas infrarrojas (**ver Fig. 14**) con una longitud de 875nm. Por otra parte, como era de esperar en la F1, los datos se envían encriptados para evitar a curiosos indeseados, ya que como bien se sabe, ya hay precedentes de espionaje este deporte. Dicha encriptación de datos puede engordar la tasa de envío de datos; así pues, sabiendo que una carrera de F1 suele durar unos 90 minutos, la velocidad de envío puede ser de unos 14-20Kbps.



Fig. 14 Disparador de vuelta y receptor óptico por vuelta. © McLaren Electronics

Para comenzar hablar sobre los sensores en sí mismos, al tratar texto sobre la aplicación de una tecnología en *Automoción*; en vez de realizar una clasificación de sensores en cuanto a sus características, se mostrarán los más importantes teniendo en cuenta su funcionalidad; clasificándolos en tres grandes grupos: *dinámica vehicular*; *prestaciones del motor*; *suspensión*, *neumáticos* y *frenos*. Se ha de ser cuidadoso con su instalación en el monoplaza; ya que han de ser fácilmente accesibles, han de evitar recibir una mínima cantidad de vibraciones y calor para alargar su vida y, han de estar convenientemente apantallados de ruido electromagnético para que las medidas obtenidas no estén falseadas (Teniendo en cuenta todavía más su precisión: micras, milésimas...), pese a que las señales recogidas puedan recibir el correspondiente filtrado.

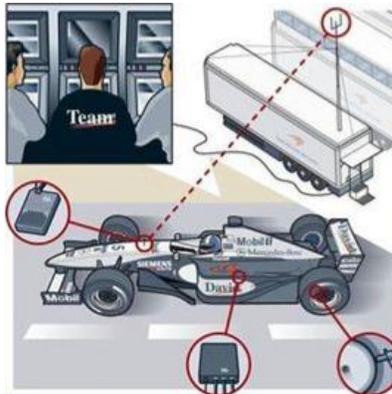


Fig. 15 Comunicación Box-coche. © McLaren

A veces, los buses que conectan los sensores con la ECU, se pueden ver sustituidos por dispositivos inalámbricos que salvan la difícil distribución de los componentes del vehículo y así salvar un cableado excesivo y zonas de difícil intercomunicación (ej. Neumáticos-ECU).



Fig. 16 Dispositivos emisor inalámbrico de datos. © McLaren Electronics

3.1 Dinámica Vehicular

En este apartado, los sensores mínimos de los que debe estar provisto un monoplaza son: velocidad y aceleración.

3.1.1 Velocidad

Para medir la velocidad del monoplaza aprovechamos el giro de las ruedas del mismo. Podemos realizar esta medición con dos tipos de sensores. El primero, se basa en una rueda dentada metálica y ferro-magnética (**ver fig. 17**) que gira a la vez que las ruedas, al recibir el movimiento del palier; es de tipo inductivo, es decir, el movimiento de un imán a través de un bobinado produce un impulso eléctrico al pasar los dientes metálicos por el sensor. El segundo (**ver Fig. 18**), de *Efecto Hall*, produce un impulso eléctrico (de una magnitud comprendida entre [0,4-200] Voltios) cada vez que la llanta gira a su alrededor. La masa total del dispositivo ronda los 30g.



Figs. 17 y 18 Sensores de velocidad inductivo y de Efecto Hall

En cualquier caso, la velocidad la conocemos interpretando la frecuencia de impulsos en la unidad de tiempo, a mayor velocidad de giro, mayor nº de impulsos producidos por el sensor (**ver fig. 4**). Con la correspondiente fórmula, pasamos de las revoluciones a las que gira la rueda a la velocidad lineal del vehículo.

3.1.2 Acelerómetros

Con este tipo de sensores lo que se pretende es captar las aceleraciones sufridas por el monoplaza en cada uno de los tres ejes (**ver Fig. 19**). El principio en que basa este sensor es en el desplazamiento de una masa suspendida dentro del sensor. La señal de salida será proporcional al desplazamiento de la masa, gracias a una red de resistencias variables. Por cada gramo de fuerza (la medida correcta sería en Newtons multiplicando por $9,8 \times 10^{-3}$) soportado por este sensor en cada eje, la señal de salida incrementa su magnitud en unos 200-440mV/g dependiendo del fabricante.



Fig. 19 Acelerómetro de tres ejes. © McLaren Electronics

Así cada vez que el sensor pase por una curva a alta velocidad podremos saber la fuerza experimentada por el vehículo por la sencilla fórmula $F=m \times a$ (donde F es fuerza, m es masa y a es aceleración) y de ahí conocer las famosas fuerzas-G que se soportan.



Fig. 20 Ejes sobre los que puede sufrir aceleración un F1.

3.2 Prestaciones del motor

Entre las variables a registrar del motor, de las más importantes a nombrar son: *temperatura*, *revoluciones* y *autonomía*. Para cada una de ellas, veremos qué tipo de sensores existen y en qué principios físicos se sustentan.

3.2.1 Temperatura

Para conocer la temperatura del motor V8 de un F1 es necesario instalar un *termopar* o sensor de tipo *termoeléctrico* (ver Fig. 21), se llama así, porque un cambio en la temperatura de la unión de dos metales (T_1 y T_2) produce una tensión de salida entre que cae entre ambos (ver Ref. 14) debido al efecto *Seebeck*. La magnitud de la tensión producida es proporcional a la temperatura de la unión de los dos materiales (ver Ref. 15); generalmente dos aleaciones: *cromel* (Cromo y Níquel) y *alumel* (Níquel, Aluminio, Manganeso y Silicio).

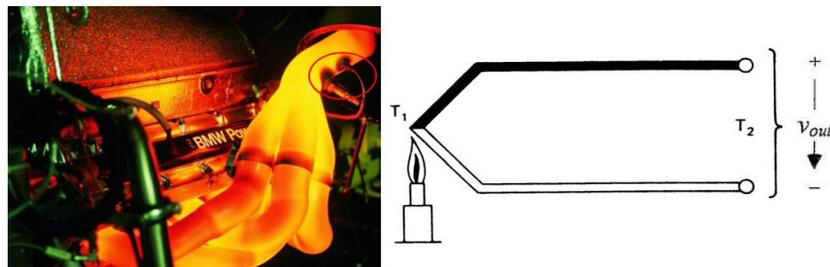


Fig. 21 Sensor Termoeléctrico instalado en el motor de un Fórmula 1

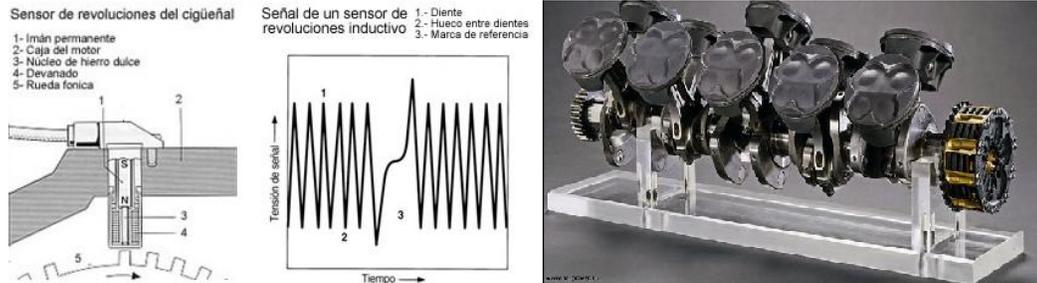
Con una masa de unos 50g, un sensor real de este tipo (ver Fig. 22), dispone en su interior de dos hilos metálicos en cuya unión suele estar conectada una abundante fuente de calor (de la que ha de estar a una separación mínima, para obtener datos fidedignos, de unos 1.5-2 mm aproximadamente del extremo del sensor) como puede ser el escape del motor etc. puesto que este tipo de sensores pueden soportar temperaturas de más de 1000 °C (El rango de temperatura en el que trabaja este sensor es de [0-1200] °C). Esta clase de sensor también puede ser utilizado para medir la temperatura en otros lugares del coche como los neumáticos.



Fig. 22 Sensor de temperatura del motor de un Fórmula 1

3.2.2 Revoluciones

Para controlar la velocidad de giro del motor (rpm), podemos usar el mismo tipo de sensor que se usaba para controlar la velocidad lineal. Sólo que aquí el giro de la rueda dentada se produce con el giro del cigüeñal del automóvil (ver fig. 25).

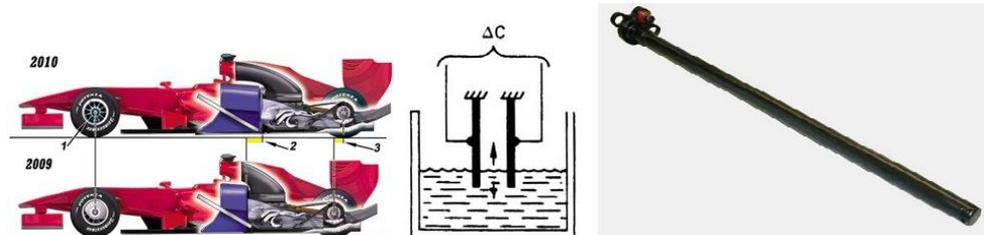


Figs.23, 24 y 25 Sensor de revoluciones, señal de salida y cigüeñal de un motor V10

3.2.3 Autonomía

Para conocer la autonomía del vehículo, primero es necesario conocer cuántos litros de gasolina quedan en el tanque de gasolina. Para ello, en el mismo se sumerge un sensor en el líquido utilizado combustible (por ello a este tipo de sensores se les denomina *sondas*).

El funcionamiento de esta *sonda*, se basa en una señal de salida que varía en función de la cantidad de líquido existente entre dos tubos concéntricos (instalados en el interior de la sonda), dichos tubos se comportan como un condensador eléctrico (**ver Fig. 27**); al variar el nivel de gasolina entre ellos a medida que se va consumiendo, también varía la permisividad eléctrica (no es la misma la de la gasolina que la del aire) y por lo tanto la señal de salida. Siendo dicha señal próxima al cero en caso de depósito vacío y de casi 5V en caso de tanque lleno, con un error de $\pm 0.05V$.



Figs. 26, 27 y 28 Tanque de gasolina (en morado), dieléctrico variable y sonda de nivel de combustible de un Fórmula 1

3.3 Suspensión, Neumáticos y Frenos

Además de aspectos que afectan a la dinámica vehicular y al motor, es interesante hacer otras mediciones en otros componentes del automóvil.

3.3.1 Suspensión

Para conocer la actividad de la suspensión, y así saber en qué mayor o menor medida se comprime, disponemos de una serie de sensores *potencio-métricos* (llamados así porque su desplazamiento telescópico produce una señal de mayor o menor voltaje en función de un potenciómetro). También son usados para conocer el ángulo de giro de las ruedas si son instalados en el sistema de dirección. Son capaces de detectar cambios de posición que varían desde una micra hasta 20-30 centímetros.

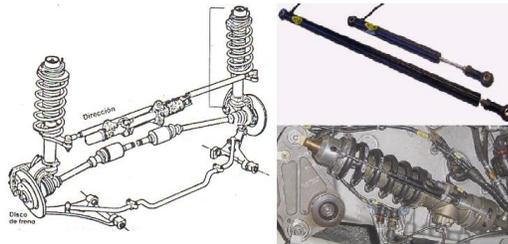


Fig. 29 Sensor para medir el desplazamiento de la suspensión y el giro de las ruedas

Este tipo de sensores potencio-métricos, incluso pueden llegar a ser utilizados para conocer la posición del acelerador en todo momento, de esta manera, los pilotos pueden conocer si iban a fondo en determinadas partes del circuito, y por tanto mejorar su rendimiento.

3.3.2 Neumáticos

Para la medición de la presión de los neumáticos se utiliza un tipo de sensor deformable llamado *galga extensiométrica*. Al deformarse por efecto de la presión del gas con el que esté hinchada la rueda, regulará un potenciómetro que producirá una señal de mayor o menor magnitud.

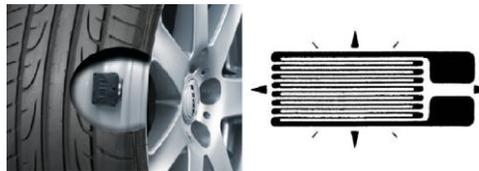


Fig. 30 Galga extensiométrica usada para medir la presión de los neumáticos

Su carácter deformable le confiere la ventaja de ser muy poco vulnerable al ruido electromagnético, pero también le hace ser susceptible a vibraciones mecánicas, por ello requiere una importante labor de filtrado por parte de la DSP. Además la señal ha de ser amplificada hasta el orden de las unidades, puesto que la señal producida por la deformación suele ser muy pobre: del orden de milivoltios.

3.3.3 Frenos

Para la medición de la temperatura de los discos de frenos (**ver Fig. 31**), se necesita un dispositivo capaz de realizar una medición a distancia sin necesidad de entrar en contacto con el disco o la pinza de freno, lo que podría provocar su destrucción. La solución adoptada es el *detector de infrarrojos* (**ver Ref. 13**). Esta versión de sensor, es de tipo fotoconductor, ya que la cantidad de luz que incide sobre el mismo hace que una resistencia varíe y por tanto se produzca una señal eléctrica de mayor o menor magnitud.

El principio de funcionamiento de esta clase de sensor se basa en la radiación que emiten todos los materiales por encontrarse por encima del 0 °K o *Cero Absoluto* (equivalente a -273,15 °C), y que incide sobre el dispositivo. Muy importante en este sensor mantenerlo limpio para captar toda la radiación proveniente de la fuente de luz, todavía más teniendo en cuenta el hollín generado en las violentas frenadas de un F1. De esta manera se ajusta lo máximo posible el margen de error del sensor que suele ser de unos ± 2 °C; un error aceptable sabiendo que el rango ideal de temperatura para los frenos del bolido son los [300-700] °C. Además al tener un posicionamiento parecido a las galgas de los neumáticos, se puede aprovechar el transmisor de radio para enviar también información sobre la temperatura de los discos de freno.



Fig. 31 Sensor fotoconductor usado para medir la temperatura de los frenos

4. Conclusión

Del uso de los sensores podríamos extrapolar una serie de consecuencias. La primera a destacar, es que gracias a la electrónica, puede verse a los F1 como un completo sistema de información con todos sus niveles jerárquicos, comenzando por el más bajo formado por los sensores, para ir subiendo e incrementando su abstracción, hasta llegar al nivel más alto conformado por el *software* (**ver Fig. 32**) que usan los ingenieros en cada carrera. De esta manera, gracias a estos sistemas de información, el desarrollo automovilístico ha experimentado un gran empujón, haciendo posible conocer multitud de datos relacionados con el automóvil en tiempo real y con mucha mayor exactitud.

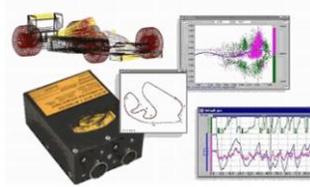


Fig. 32 Visión global de la información en la F1

Además de información fidedigna acerca de los coches, con datos tan exactos, día a día, se intentan prevenir desgracias y fallos inesperados (**ver Fig. 33**), que en muchos casos se deben únicamente a centésimas o milésimas, que sin estos sistemas de medición tan exactos no sería posible detectarlos.



Fig. 33 Mercedes CLR-GT1 accidentándose durante las 24h du Mans 1999. © 24h du Mans

Incluso en el caso de fallo o accidente, gracias a los sensores es posible conocer las causas del imprevisto, puesto que hoy en día se utilizan diversos sistemas de caja negra, de diagnóstico (*Onboard Diagnosis* (**ver Ref. 11**))... tanto en coches de calle como de competición. De esta manera, durante y después de una carrera, por ejemplo, sería posible determinar por qué un motor puede o ha podido romperse (**ver Fig. 34**).



Fig. 34 Rotura de motor del RB4 de David Coulthard. © FIA

Es necesario recordar que no sólo de Fórmula 1 vive el mundo de las cuatro ruedas. Muchos piensan que este deporte sólo es un campo de I+D o incluso publicitario para potenciar el número de unidades vendidas de los departamentos de calle, cuya venta de unidades supone el trozo grande del pastel para los grandes fabricantes de automóviles.

Si bien es cierto que el uso de sensores en los coches homologados para circular por carretera ya comenzó en los años sesenta-setenta de una manera muy significativa de la mano de Citroën, no recibió su impulsó significativo hasta los años ochenta, con la revolución tecnológica en la F1 y de la ciencia de la computación. Fue en esta época cuando se empezaron a incorporar los primeros ordenadores de abordo que nos mostraban datos que atañían al consumo, a la temperatura del motor, a la autonomía...

Además existen grandes marcas dedicadas a la fabricación de sensores para automoción; las más conocidas *Bosch* (ver Ref. 6) o *Magnetti Marelli* (ver Ref. 4), y en los últimos tiempos al hacerse con el control del diseño de la actual ECU estándar de los bólidos, también *McLaren Electronics* (ver Ref. 5). La presencia de estos fabricantes es otra vez una prueba clara de que es una industria en auge dentro y fuera de las pistas. De hecho todo el sistema electrónico de un F1 (ECU, sensores, actuadores, buses, cableado...) puede superar fácilmente los 200.000€.



Fig. 35 Ordenador de a bordo de un turismo

Si bien puede parecernos que hoy en día todos estos avances no son impresionantes, quién nos iba a decir hace veinte años que nuestros vehículos iban a incorporar cosas tan increíbles como un medidor de nuestra posición global en el planeta (*GPS* (ver Fig. 36)); o cuando ahora vamos al taller de nuestro concesionario, en caso de tener un problema, ya no suben nuestro vehículo a ningún tipo de elevador para comprobar a oscuras qué es lo que sucede; porque en estos tiempos, en la era de la informática, muchos de nuestros vehículos ya disponen de un puerto *CAN-BUS* que permite conocer “al instante” qué es lo que le sucede a nuestro vehículo.



Fig. 36 Sistema integrado GPS de BMW. © BMW

Quizá la gran diferencia con la F1 sea el gran volumen de datos a procesar; o lo extravagante de algunos de sus inventos: medidor de fuerzas-G que ya incorporan algunos súper-deportivos (**ver Fig. 37**)... que pueden parecer impensables para añadir a nuestros utilitarios, pero que el día de mañana nos serán tan familiares e indispensables como hoy nos lo parece el ESP (se sirve de los acelerómetros y sensores de giro) o el ABS. Si en la competición se trata de puntos o posiciones, en las calles la fiabilidad es un factor todavía más determinante, sobre todo sabiendo que la compra de un vehículo supone para un consumidor un importante desembolso del que espera que le sea rentable y del que pueda obtener el máximo rendimiento sin la menor avería.



Fig. 37 Koenigsegg CCX Agera con medidor de fuerzas-G incorporado

Para acabar, aunque para muchos pueda parecer que la F1 es una disciplina que se aleja de la realidad y que gasta cantidades desmesuradas en alta tecnología, no se dan cuenta que dichas cantidades son inversiones en desarrollo que muchas veces se ven plasmadas en los turismos y que hoy en día todo consumidor busca como extra en su futuro coche.

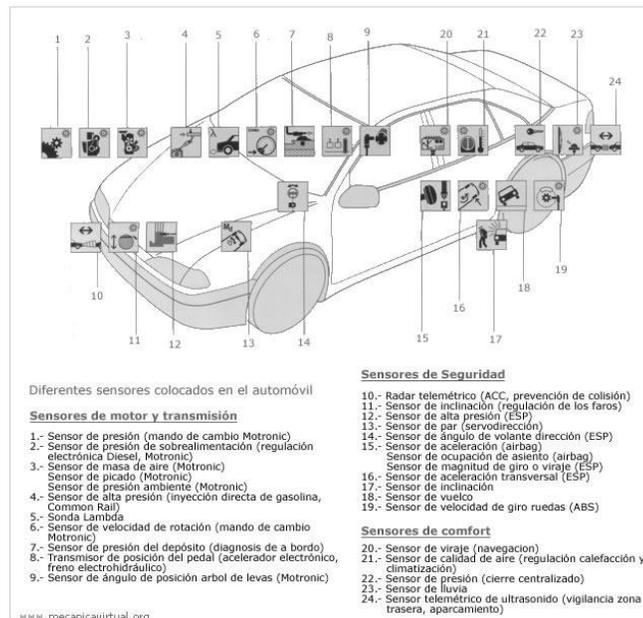


Fig. 38 Diferentes sensores colocados en un automóvil. © Mecánica Virtual

Por ello, vistas las necesidades dentro y fuera de la pista, es y seguirá siendo necesario la formación y presencia de diversos profesionales con este tipo de conocimientos como pueden ser los *Ingenieros en Informática, Telecomunicación, Electrónica o Automática*, entre los cuales uno de sus principales cometidos es la gestión de información; para seguir haciendo que disciplinas como la *Fórmula 1*, la *Electrónica*, el *Procesado Digital de la Señal* o la *Informática Industrial* sigan yendo cogidas de la mano.



Fig. 39 Ingenieros del equipo Ferrari en la *sala de telemetrías* © Ferrari

Anexo: Bibliografía y Documentación

Referencia 1 - <http://www.motorpasion.com/formula1/albert2>

Artículo del portal de F1 *Motorpasion.com* en el que se informa de la compra del supercomputador Intel *Albert2* por parte de la escudería alemana *BMW SAUBER*.

Referencia 2 – Tremayne D. (2006) *The Science of Formula 1 Design*, Haynes Publishing, Sommerset, Reino Unido

Referencia 3 - http://www.appro.com/product/server_xtremex1_xeon.asp

Hoja de características del supercomputador adquirido por el equipo Renault F1

Referencia 4 - <http://motorsport.magnetimarelli.com/>

División deportiva del fabricante italiano de componentes electrónicos para el automóvil *Magnetti Marelli*

Referencia 5 - <http://www.mclarenelectronics.com/>

Departamento de electrónica de la escudería británica de F1 *McLaren*

Referencia 6 - <http://www.bosch-motorsport.com/>

División deportiva del fabricante alemán *Bosch*

Referencia 7 - http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_muestreo_de_Nyquist-Shannon

Tª de Muestreo de Nyquist-Shannon

Referencia 8 - http://www.sobrecoches.com/coches/koenigsegg/agera/novedad_2010

Artículo sobre el nuevo modelo del fabricante sueco *Koenigsegg*

Referencia 9 - http://es.wikipedia.org/wiki/CAN_bus

Artículo de *Wikipedia* sobre el protocolo de comunicaciones *CAN-BUS*

Referencia 10 - http://es.wikipedia.org/wiki/Sensor_de_efecto_Hall

Artículo de *Wikipedia* sobre los sensores de *Efecto Hall*

Referencia 11 - <http://es.wikipedia.org/wiki/OBD>

Artículo de *Wikipedia* sobre *Onboard Diagnosis*

Referencia 12 - http://es.wikipedia.org/wiki/Procesador_digital_de_se%C3%B1al

Artículo de *Wikipedia* sobre *DSPs*

Referencia 13 – Martín Mateos P. (2009), *La Electrónica en la F1*. Creative Commons

Referencia 14 – Asensio Diago J.R. (2010), *Sensores y Actuadores*. Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza. Aragón. España

Referencia 15- http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Seebeck

Artículo de *Wikipedia* sobre *Termopares* y el *Efecto Seebeck*