

Dispositivo Portátil para la evaluación de velocidades y fuerzas dinámicas para vehículos de Transporte Público hecho en el Perú

MSc. Víctor Sotelo Neyra, Ing. Carlos Muñoz, Dr. Waldo Rodriguez

Universidad Nacional de Ingeniería

Lima, Perú, L27

vsotelo@varitek.us

RESUMEN

La evolución en el futuro de los microprocesadores esta dando paso a las nuevas tendencias, como es el diseño de dispositivos para aplicaciones específicas, de acuerdo a las características solicitadas por empresas tecnológicas, adecuándose a la Ley de Moore; “La capacidad de procesamiento se duplica cada 18 meses”, como toda tecnología los avances van desde una demanda no satisfecha hasta la sobre oferta, para luego terminar en sistemas hechos a medida “a pedido del cliente”, muchas de las facilidades de la globalización realzan las posibilidades de la fabricación de instrumentos y herramientas basados en microprocesadores, entre estos, dispositivos que pueden ser diseñados de acuerdo a la realidad nacional de cada país.

En la actualidad el uso de microprocesadores en la industria, en el parque automotor o en los electrodomésticos, ha llegado a ser parte cotidiana de la vida de las personas, las que viven en un mundo moderno, de poco tiempo disponible y que siempre esta a la vanguardia de la automatización. Cuando se vive en un lugar desarrollado, las oportunidades de tener comodidades pueden hacer que una persona común tenga más de cien microprocesadores en casa, en vehículos, en aplicaciones, en los sistemas de entretenimiento, cámaras, dispositivos inalámbricos, DVDs., MP3s asistentes personales (**Palms**), celulares o juguetes.

El presente trabajo trata sobre el diseño e implementación de un Dispositivo Portátil y un Sistema Operativo para un analizador y grabador de datos, denominado CAJA NEGRA, nombre obtenido de los equipos de seguridad de los aviones comerciales donde se graban las señales de vuelo. De forma similar se trata de crear una base digital para realizar el análisis de aceleración, velocidad y datos de estados de algunos instrumentos de los vehículos de transporte público.

Para dar flexibilidad a la programación de las futuras funcionalidades que se amolden a las necesidades del mercado, se ha creado un sistema operativo flexible de modo que la adaptación a nuevas opciones se realice en un lenguaje de alto nivel con bastante facilidad, utilizando las nuevas herramientas de software, como son las suites de programación, a fin de dar versatilidad y robustez al producto, sobretodo para amoldarlo a las necesidades que puedan surgir durante el diseño y las pruebas.

Palabras Clave: Transporte público, microprocesadores, aceleración, sistema operativo, seguridad, frenos, conductor, portátil, vehículo, potencia, motor.

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú se habla constantemente de los problemas del transporte público, específicamente de la pericia de los conductores y la forma de realizar un buen control de las reglas de tránsito, sin embargo el problema se torna más complejo aún, cuando no se cuenta con los medios de hacer una buena calificación, ni se cuentan con los medios físicos para realizarlos, entre estos la instrumentación y la capacitación del personal que hace uso de las herramientas.

Se plantea como alternativa, la construcción de una microcomputadora portátil, la cual va a servir como base para el montaje de diferentes dispositivos periféricos, sensores y servo-motores, de manera que pueda ser capaz de grabar información de los movimientos de los vehículos en mención, contando para ello con memorias no volátiles de tipo Flash, como las memory stick de las cámaras de fotografía y video digital actuales.

La microcomputadora estaría basada en un procesador digital de señales, similar a los que hoy utilizamos en los teléfonos celulares o equipos de video DVDs. ó MP3s, de alta velocidad y capacidad de procesamiento, así mismo contaría con un sistema operativo encargado de realizar las gestiones de memoria y de distribuir la carga de los procesos, así como facilitar la comunicación con los periféricos y la operación de la base de datos en memoria.

Los sensores principales son chips de aceleración de tipo MEMs (sistemas mecánicos micro-electrónicos), que permiten medir con alta precisión la aceleración de cualquier vehículo, estos chips los encontramos en los sensores de movimiento de los equipos de realidad virtual, al sensor el movimiento de los dedos, en los sensores de movimiento telúrico, así como en los sistemas de seguridad por bolsas de aire en los automóviles modernos.

La capacidad de procesamiento se soluciona utilizando un tipo de microprocesador que viene ganando un gran auge en los dispositivos multimedia portátiles, este es el procesador digital de señales **DSP**, el cual posee un juego de instrucciones desarrolladas especialmente para trabajar con funciones matemáticas complejas de gran uso en los algoritmos de cálculo en tiempo real y en seguridad de la información.

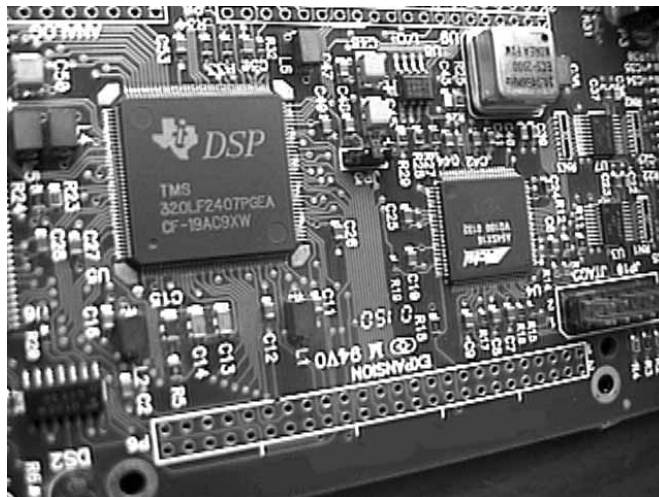


Figura 1. Tarjeta Madre del Varitek 14.

2. INICIATIVA A UNA NECESIDAD

En el caso del Transporte Público en el Perú se manifiesta una necesidad de automatización de la toma de datos procesamiento de la información del funcionamiento. Si existiera un medio donde cada conductor fuera identificado por una tarjeta electrónica, como serán las tarjetas de crédito en el futuro, y además la información dinámica de su manejo es computarizada, entonces se abre el camino para que se pueda procesar toda la información obtenida durante el día de trabajo, de una manera ordenada y rápida.



Figura 2. Dispositivo Portátil Varitek 14

Operaciones de reporte y otros que se pueden realizar:

- Calidad de Manejo
- Frenado y Potencia del vehículo
- Infracciones
- Reporte después de un accidente
- Fidelidad y Lealtad
- Verificación del conductor
- Automatización de multas

El desarrollo del proyecto Varitek 14 plantea una serie de etapas, las cuales se encuentran modeladas de modo que se puedan ir incluyendo las diferentes funciones a medida que se va perfeccionando el equipo. Existen pocas dificultades para la implementación de los dispositivos electrónicos y en diseño del firmware (sistema operativo en el microprocesador), gracias al equipo de investigación de codiseño hardware y software con el cual contamos en el campus.

En la primera etapa se desarrollará el núcleo básico de la tarjeta madre, incluyendo sensores de aceleración, dispositivos de entrada y salida como la pantalla y el teclado, una memoria de peso como la flash de 4Mb y también el desarrollo de un software inicial o Firmware para el manejo del sistema.

En el diseño del hardware se tiene como punto fundamental la adaptabilidad y el crecimiento de nuevos periféricos, para futuras necesidades de uso, por ejemplo se deja la posibilidad de incluir un dispositivo “Wíreles” para la conexión del Varitek 14 con unidades de recepción remotas, de tipo celular o de corto alcance, de modo que el vehículo puede circular por las calles e ir conectándose con estaciones bases, ubicadas en avenidas principales de Lima. De este modo se puede hacer una conexión casi en línea, facilitando la creación de una base de datos de flujo de tránsito, ya sea para vehículos de transporte público o de instituciones que requieran del uso del servicio para un mejor ordenamiento o para el seguimiento de los movimientos del vehículo. La conexión de los autos y camiones a un sistema de conexión en línea, es decir conexión por las bases remotas a un solo computador central, vía Internet o red privada, permite grandes facilidades y funcionalidades que pueden ayudar a captar nuevas soluciones a problemas del transporte público, incluso se puede detectar la posición del auto en casos de robos u otros tipos de seguros, permite el pago de peajes automáticos, detección de tránsito por rutas prohibidas, crea una base de datos de los movimientos de las líneas de transporte público, entre otros.

3. DISPOSITIVO PORTÁTIL VARITEK 14

Es una microcomputadora alojada dentro de un dispositivo portátil, ver figura3, conocidos en la actualidad como PDAs o Handhelds, el procesador principal es un DSP TMS320LF2407 de la Texas Instruments, el programa principal y la memoria sensible está alojada en memoria flash. Sus baterías pueden durar de 3 a 4 días sin necesidad de recargarlas, tiene un sistema de consumo de potencia regulada de modo que al detectar que el teclado no ha sido tocado durante 4 minutos pasa a un estado de espera, disminuye el consumo de energía a sólo un 3% de su valor nominal, obteniendo un desempeño similar al de un celular moderno. El protocolo de comunicación entre el Varitek y el equipo de descarga de datos, que normalmente es una PC, puede ser síncrono o asíncrono, existen muchos modelos y estándares en el mercado, la mayoría se basa en el estándar RS232, esto es un protocolo utilizado en los puertos seriales de las impresoras, pero se incluye comandos específicos e información encriptada por llaves, imposible de romper o copiar.

Los elementos y periféricos I/Os que maneja la microcomputadora por sistema operativo son:

- ◆ La Pantalla de 4 líneas x 16 caracteres según el modelo
- ◆ El Teclado 4 X 4 lín.col
- ◆ Pin para despertar el dispositivo
- ◆ Puerto serial e IR para poder descargar y cargar programas desde una PC.
- ◆ Puede tener periféricos seriales como una impresora.
- ◆ La bahía de sensores acelerómetros
- ◆ Sistema de carga de las baterías
- ◆ Modo standby, donde apaga periféricos para disminuir el consumo de corriente
- ◆ Pines de configuración
- ◆ Luz Online de la tarjeta
- ◆ Sensor de tarjeta en la bahía
- ◆ Fuente regulada de 5v.
- ◆ Memoria Flash (data sensible)
- ◆ Memoria Ram Externa (data variables)

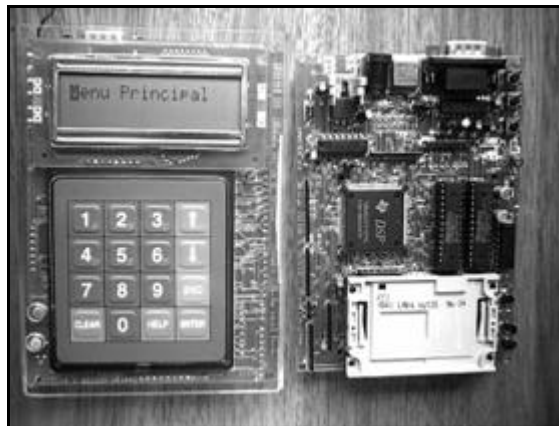


Figura 3. Vista interior del Varitek 14 Prototipo

El DSP Texas Instruments y facilidades de sus periféricos

En la actualidad las familias de DSPs se especializan en potencia de procesamiento, otras en consumo de energía y otras en control, esta última por lo general cumple las funciones de un DSP y la de un microcontrolador, ambos construidos en la misma pastilla [1].

Si el diseñador opta por un DSP de mucha potencia de procesamiento, entonces debe incluir toda una serie de periféricos que se requieren para el manejo de los distintos elementos. Por ejemplo para las comunicaciones debe incluir un dispositivo externo de comunicación serial, como es conectar una tarjeta ethernet a una PC, para el teclado necesita líneas

de entradas y salidas y un reloj para sincronizarlas, para la pantalla líneas de conexión a los buses que manejan el microprocesador de la pantalla display, etc.

Sin embargo existe la posibilidad de escoger un DSP embebido, preparado para aplicaciones de control, estos incluyen numerosas líneas de entradas y salidas, por lo general 3 o 4 relojes de tiempo, memoria FLASH incluida en la pastilla, lo que permite su reprogramación. Incluyen también diferentes modos de operación de espera para mejorar la performance de las baterías, conversores A/D para medir si las baterías están por acabarse, líneas de interrupción que permiten la atención de un periférico en especial, como es el caso de las líneas que manejan la conversación con la tarjeta inteligente. Haciendo un estudio detallado de todas las necesidades del Varitek 14 se escogió el modelo de DSP TMS320KLF2407 de la Texas Instruments.

La unidad de infrarrojos es básicamente un led de luz infrarroja y un fototransistor IR, las mismas que son conectadas a las líneas de periféricos del DSP, el manejo es por software y no por hardware, debido a que no se necesita una gran velocidad de trabajo.

La memoria utilizada es un banco de memoria FLASH de 4Mb por 16 bits, suficiente para poder atender a 250 clientes aproximadamente sin necesidad de bajar información a la PC. La memoria del programa se almacena en la FLASH interna y externa al DSP. La mitad aproximadamente está ocupada por el BIOS del sistema.

4. SEGURIDAD DE LA INFORMACION PARA UN MICROPROCESADOR

La encriptación de los datos en la memoria flash es imprescindible para la seguridad de la información, los kernels de carga y descarga de datos operan como si fueran los disco duros de una PC, de hecho trabajan de forma similar y su acceso es transparente al programador, tienen una serie de comandos de lectura y escritura, se basan en archivos y carpetas como el DOS, ver figura 4, con la diferencia que la información transmitida se encuentra encriptada.

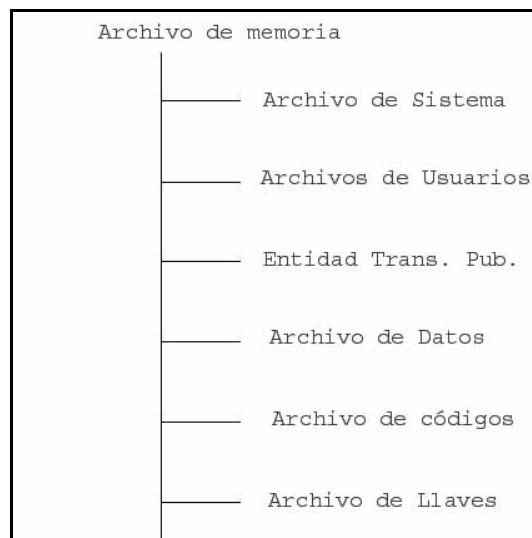


Figura 4. Archivos en la memoria Flash

Seguridad por Código

El sistema permite trabajar con el archivo de códigos (passwords) estructurado en la memoria flash, este archivo contiene una serie de parámetros que permite la verificación de la clave o pin recibida por el microprocesador del Varitek. En caso de producirse un error o que alguna persona intente varias veces de adivinar el código, éste tiene un contador que disminuye su valor y que puede producir el bloqueo permanente de la tarjeta, también puede generar una alarma de sonido o incluso podría bloquear el encendido del automóvil o generar una señal de radio para avisar del intento.

Encriptación por Llave

La aplicación y la memoria conversan utilizando mensajes cifrados, utilizando una llave principal que es conocida tanto por el microprocesador del Varitek, como por el archivo de llaves que está incluido en el chip de la flash en un zona de la memoria que es solamente llamada por el código secreto, esta llave puede ser cambiada de acuerdo a las especificaciones de los requerimientos.

Existen muchos algoritmos de encriptación y desenscriptación en el mercado, ver figura 5, como son los más populares el SSL secure socket layer utilizado en las sesiones seguras de internet o el SET secure electronic transaction para transacciones bancarias también utilizadas por internet y el nuevo 3D secure para tarjetas de crédito. La idea fundamental es tomar datos de un archivo de texto o numérico y convertirlo en información cifrada mediante un algoritmo específico, de modo que los datos enviados en el mensaje solo puedan tener sentido para el individuo que posea la llave de desenscriptación.

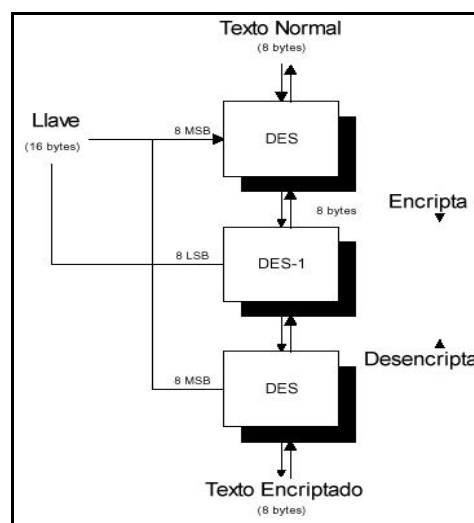


Figura 5. Encriptación y Descifrado

El Varitek utiliza un algoritmo 3DES con llaves asimétricas, donde parte de la información es encriptada solo con los primeros 8 bits de la llave (DES) y luego los datos hallados se vuelven a encriptar con toda la llave. Los mensajes se transmiten entre DSP y la memoria flash, utilizando mensajes encriptados.

5. EL BIOS Y EL SISTEMA OPERATIVO

Teniendo un concepto más claro de los dispositivos que se deben manejar, incluyendo al microprocesador de la tarjeta, se debe implementar un sistema básico de operación y un sistema operativo completo para la gestión de la memoria, el despacho de los procesos, la encriptación y las comunicaciones, este se ha diseñado con una arquitectura utilizando el método de capas o estratos, tanto de manejo de las alternativas del negocio como de la seguridad de la información.

El Varitek 14 está estructurado con un sistema operativo, ver figura 6, que corre sobre drivers BIOS y este a su vez sobre un microcódigo. El microcódigo es la primera capa que configura los relojes, establece las interrupciones, direcciona la memoria por hardware, establece las velocidades de los puertos y las rutinas de interrupción, arranque y apagado del dispositivo, establece la frecuencia de trabajo y modos de operación. Los microcódigos son los primeros en configurar los dispositivos periféricos y la Puesta en Marcha.

Se cuenta con drivers de manera similar al de las microcomputadoras actuales, por ejemplo en una PC, se tiene un código básico para el manejo del teclado, así los programas más avanzados solamente utilizan rutinas sencillas de ensamblador que están fijadas en el conocido chip de BIOS, las rutinas pueden ser llamadas por comandos en C, como correr un sistema

en forma de kernels, sin tener que preocuparse de qué rutinas va a ejecutar el procesador, por ejemplo para detectar la tecla pulsada o el envío de caracteres al puerto serial.

Por encima de los drivers se encuentra el Sistema Operativo Central que es el organizador de la gestión con la memoria, el manejo de los procesos, los dispositivos periféricos y los servidores de encriptación y mensajes, este se ha realizado en lenguaje C utilizando el programa Code Composer de la Texas Instruments. El S.O. se encarga de administrar los recursos utilizando las interfases creadas en lenguaje C y conectadas a los drivers por lenguaje ensamblador. Gracias a los 4 relojes con los que cuenta el DSP se puede lograr interrupciones de acceso a multiprogramas, cada uno de los procesos que manejan los servidores trabajan como si fueran hilos, para que se puedan realizar varias tareas a la vez, como el proceso de lectura de teclado y el envío de caracteres a la pantalla.

La gestión de la memoria se realiza con un servidor de almacenamiento para la escritura lectura con una memoria FLASH de 4MB, donde se van a grabar datos de importancia como las llaves de encriptación y las mismas transacciones de los Clientes, se debe llegar a un grado de seguridad para la encriptación de los datos durante la lectura y escritura, esto se logra implementando un algoritmo DES entre un servidor de aplicaciones y el servidor de memoria.

El servidor de aplicaciones que es re-programable, es el encargado de procesar los aplicativos o programas según los requerimientos, por ejemplo un programa que detecta los excesos de velocidad y los graba en memoria. Diferentes servicios “demonios”, trabajan de forma activa atendiendo los servicios con los que cuenta el sistema operativo. Para resumir se presenta a continuación algunos de los principales servicios del S.O.:

- Servidor de Aplicaciones (re-programable según requerimientos)
- Despachador de Procesos
- Generación de llaves de encriptación por números aleatorios
- Encriptación y Clarificación de datos en la memoria FLASH
- Servidor de interrupciones de subprocesos de tiempo real (sensores)
- Autenticación del usuario
- Servidor de seguridad para comunicaciones encriptadas con la PC
- Servidor de almacenamiento de memoria y llaves
- Lectura del teclado
- Manejo de la pantalla
- Enviar datos al puerto serial
- Enviar o Recibir datos del puerto infrarrojo
- Apagar y prender el led de online
- Despertar al Varitek después de un Sleep
- Enviar mensaje de error a la pantalla/usuario

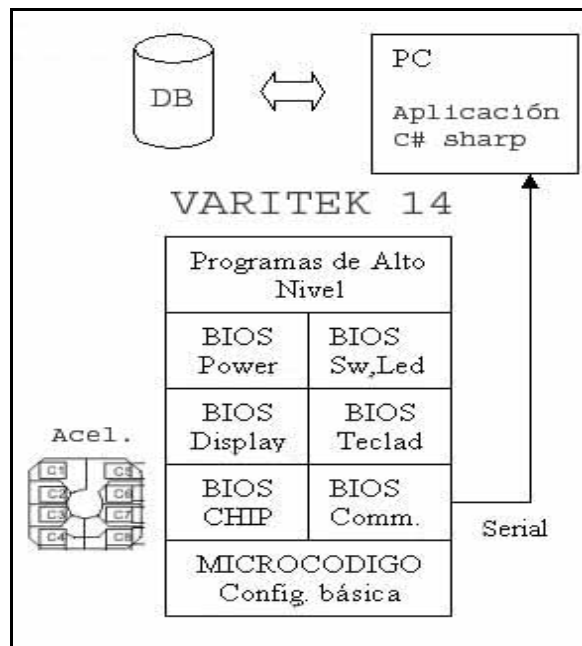


Figura 6. Arquitectura del Software

Lo mas interesante de la estructura de este S.O., es que se construyó en base a la idea que las aplicaciones se podían cambiar de un modelo de negocio a otro, de acuerdo a las necesidades de los Clientes, esto permite que cambiando el módulo de programa del servidor de aplicaciones este puede ser utilizado en otro tipo de negocios. El servidor de comunicaciones con la PC permite transferir información relacionada con un negocio y esta puede ser guardada y procesada por un programa en Visual C# o NET para comunicarla luego con una base de datos en Access o DB2.

De los procesos y multiprogramas

Para lograr la multiprogramación se ha implementado la interrupción de uno de los relojes del DSP, de modo que a cada interrupción un contador y un despachador selecciona entre 4 a 10 procesos de acuerdo al momento de operación, de modo que cada uno de ellos puede tener un intervalo de tiempo para procesar la información, este contador puede tener diferentes pesos (mayor o menor conteo) para cada uno de esos procesos de acuerdo a su jerarquía.

Al inicio de cada atención de cada uno de los procesos, se ejecuta una rutina de interrupción por software, este tipo de interrupciones permite que se guarden todos los registros involucrados en su propia pila, para que dichos registros no sean modificados de proceso a proceso, algunos de los registros importantes son el acumulador, el contador de programa PC, los registros auxiliares, los registros de estado, los punteros de apilamiento, los modos de desplazamiento y otros.

Gestión de la memoria

A diferencia de los procesadores con arquitectura Von Newman, los DSPs trabajan con la arquitectura Harvard donde la memoria de programa y la memoria de datos se encuentran físicamente separadas, además que los DSP son dispositivos de alta velocidad para aplicaciones de tiempo real, por lo que cuentan con una memoria interna muy pequeña, alrededor de los 64Kb. Esta pequeña memoria de datos o de programas en muchos casos son una limitación para la construcción de dispositivos portátiles, sobre todo si la memoria debe consumir un mínimo de energía para que no se pierda la información cuando el equipo no esta activado. La solución se encuentra utilizando las modernas memorias FLASH, las cuales son económicas, de tamaño considerable 4Mb y fáciles de manejar, sobre todo que ante el corte total de energía la información queda guardada por varios años.

Para el correcto funcionamiento de un DSP con memoria corta y un buen desempeño con el uso de memoria FLASH se ha recurrido al método de la paginación, que es un método de obtener memoria virtual, el cual consiste en ir intercambiando bloques de memoria desde la memoria FLASH a la memoria interna del DSP, de acuerdo al uso que se requiere en el

proceso que se esta corriendo. Por limitaciones de tiempo, este método ha sido implementado con bloques grandes de memoria, aproximadamente 8 bloques de 1Kb y cada uno de los bloques para cada proceso, 4 de ellos están permanentes en la memoria, que es el servidor de gestión de la memoria, los BIOS residentes, el kernel principal (los BIOS son parte del kernel), y el servidor de seguridad. Como 5 proceso y este semi-permanente, es una parte de la aplicación del servidor de negocios, este es un programa grande que tiene que ir bajando páginas de la memoria FLASH para poder ir ejecutándose, por ejemplo cuando se requiere algún dato de una tabla de precios, entonces se selecciona la tabla y se busca la ubicación, para luego bajar la información correspondiente.

Periféricos

Los periféricos son manejados por los BIOS, algunos de ellos como el teclado trabajan en forma de eventos, es decir que cuando se pulsa una tecla esta envía una interrupción para que sea atendida una rutina de lectura, la cuál coloca el número de tecla en un buffer de teclas limitado.

La pantalla se comunica utilizando un puerto serial sincrónico SPI, las tablas de mensajes tienen que ir bajándose desde la memoria FLASH y de acuerdo a la aplicación se pueden ir formando menús o formularios enviando letra a letra a un buffer de caracteres.

La comunicación con los dispositivos periféricos por lo general son estándares, como el protocolo estándar ISO7816, el RS232 para el puerto serial asíncrono, o el Serial Peripheral Interface SPI para los periféricos, se utilizan pines desde el DSP y un BIOS se encarga de formar el protocolo, es decir que se implementa por software, algunos dispositivos del mercado tienen implementado este protocolo por hardware.

6. LOS PROGRAMAS DE ALTO NIVEL

La curva tecnológica de microprocesadores es más pronunciada que la del software que lo va a soportar, algunos programas avanzados permiten mejorar y desarrollar software complejo en menos tiempo, lo cual es muy importante en un mercado tan competitivo como el de la alta tecnología. El uso de herramientas de lenguajes de alto nivel como el Code Composer de la Texas Instruments, ver figura 7, facilitan el trabajo y dan flexibilidad para que el Varitek 14 pueda ser programado con facilidad para cualquier aplicación que sea requerida por el cliente. Teniendo el BIOS estructurado con funciones básicas, se utilizan procedimientos en lenguaje C que permiten integrar los programas programados en ensamblador para el caso del BIOS, el cual se guardado en librerías con el lenguaje de Alto nivel como es el el lenguaje de programación C.

Por ejemplo si deseamos leer un archivo del chip FLASH se crea una rutina básica en ensamblador que puede hacer un llamado:

Leersflashcard(Archivo,Registro,#bytes,MAC);

Dándole como dato el Archivo que se desea obtener, la línea o Registro, la cantidad de bytes que se requiere y el código de autenticación para la seguridad. Para el caso del lenguaje C se pueden crear librerías completas de todos los comandos con que se pueden hacer llamados al chip utilizando el driver de comunicación con la memoria flash.

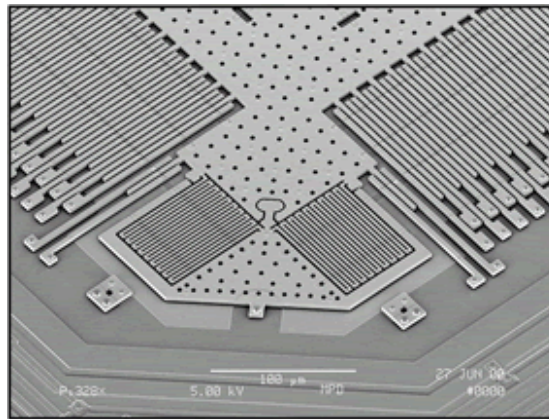


Figura 8. Los acelerómetros

8. CONCLUSIONES

En el Perú se abre la posibilidad de producir dispositivos de alta tecnología, los elementos necesarios se pueden encontrar en el mercado y debemos estar preparados para ello. Muchas empresas tecnológicas agrupan ingenieros de diseño de programas de diferentes partes del mundo, para la creación de complejos sistemas operativos o programas de aplicación para dispositivos portátiles. En tiempos pasados la información no era compartida por los productores de componentes tecnológicos, sin embargo hoy en día, en un mundo que comienza a globalizarse, la información esta disponible para todos y los elementos se pueden adquirir o compartir utilizando la internet o algún otro medio de comunicación.

El control del transporte público encuentra una herramienta para solucionar los problemas de excesos de velocidad, falta de seguridad, pericia de los conductores y parte de las revisiones técnicas que pueden ser automatizadas. Los dispositivos hechos a la medida, de acuerdo a las condiciones que requiere nuestra realidad nacional, pueden solventar las diferentes características de nuestro medio, facilitando los cambios correspondientes para adecuarse a nuestra legislación.

El diseño de un sistema operativo esta muy ligado a las herramientas que lo soportan, como es el software de programación, recordemos que la curva de expansión de la tecnología del hardware es mucho mas pronunciada que la de software, por lo que nos enfrentamos al gran reto de la programación de un sistema propio que incluso debe lidiar con el tiempo real, es aqui donde el camino del diseño y la base de nuestra experiencia debe dirigirnos a la creación del conocimiento, que debe permitir a su vez soportar sistemas mas complejos, al ir aprendiendo los manejos básicos de los despachos de procesos, la gestión de las memorias y el manejo de periféricos .

La experiencia para el soporte del sistema es fundamental, así como las pruebas de calidad y los proyectos pilotos, mucho de los aspectos de tolerancias a fallas se logran gracias a las pruebas que se realizan en el campo y esto constituye el background del conocimiento del tema, por lo general el software de programación del equipo se va mejorando gracias a la flexibilidad de las actualizaciones del sistema operativo, a medida que los proyectos van madurando entonces se puede llegar a lograr productos robustos de calidad .

9. REFERENCIAS

- [1] Texas Instruments: "TMS320LF2407 CPU Reference Guide" Cap I, Introduction, pág 25.
- [2] Analog Devices: "A High Performance Surface Micromachined Accelerometer for Tactical Inertial Applications", www.analog.com/mem, nota técnica
- [3] Andrew S. Tanenbaum: "Sistemas Operativos – Diseño e Implementación"; Prentice-Hall, 2000, págs. 15-25
- [4] Andrew S. Tanenbaum: "Sistemas Operativos Modernos"; Prentice-Hall, 2003, págs. 34-51