

Análisis de Características Técnicas en Dispositivos Móviles Aplicado a la Instrumentación

José F. Pérez A., Mireya Fernández, Juan Ramos

Resumen—El Objetivo del trabajo fue el estudio y análisis técnico comparativo de las características de hardware y software, en dispositivos móviles de bolsillo (Teléfonos Inteligentes o *Smartphone* y Organizador Personal), para ofrecer factibilidad de uso en el campo de la instrumentación, automatización y control, en las áreas de lo Científico, Industria o Biomédica. Se busca comprender los términos y tendencias de tecnología como sus servicios en la telefonía móvil; así como la integración de herramientas para implementar su uso en el campo de la Instrumentación. Se diseñaron aplicaciones con controles e indicadores para la adquisición, procesamiento y visualización de señales eléctricas que reflejan las diferencias en la interfaz hombre-máquina según las limitaciones de los dispositivos en prueba.

Palabras claves— Automatización, Instrumentación, Celulares, dispositivos móviles.

I. INTRODUCCIÓN

El auge de dispositivos portátiles o de mano (*handheld*), con altas prestaciones que ofrece el mercado mundial, motivado posiblemente por su novedad; pero sin lugar a duda el incremento significativo en su capacidad computacional, conectividad, funcionalidad y portabilidad. Todo ello impulsa a proyectar estos dispositivos para propósitos dirigidos a la Instrumentación Científica, Instrumentación Industrial e inclusive a la salud personal (Instrumentación Biomédica) [1],[2].

Sin embargo, muchos dispositivos a los cuales se desea modificar o crear un software y/o hardware para brindar un valor agregado al equipo móvil, no cumplen las especificaciones mínimas para aplicaciones en los campos de la instrumentación. Son restricciones de fabricantes en su hardware o por limitaciones en la plataforma tecnológica, los cuales se desean detallar en esta publicación.

Artículo recibido el 9 de Noviembre de 2009. Este artículo fue financiado por la Universidad Politécnica de Cataluña.

J.F.P.A. están con la Universidad de Los Andes, Sector La Hechicera, Facultad de Ciencias, Departamento de Física, Laboratorio de Instrumentación Científica, Mérida, Estado Mérida, Venezuela, Tlf. +58-274-2401264, Fax: +58-274-2401286, E-mail: josperez@ula.ve

M.F y J.R. está con la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, Cataluña, España, Tlf. +34-934017398, E-mail: mireya@eel.upc.edu, jramos@eel.upc.edu

Para empezar se diferencian los términos: Organizador Personal o Asistentes Personales Digitales, conocido por sus siglas en inglés PDA (Personal Digital Assistant), Móviles de tercera generación o Teléfonos inteligentes (*Smartphone*), *Pocket PC* (computadores de bolsillo) y comprobar la capacidad de cómputo de estos pequeños dispositivos. Seguidamente se describen las distintas plataformas que soportan sus servicios, la diversidad en los sistemas operativos [3-5] y herramientas computacionales para realizar aplicaciones en el campo de la Instrumentación y Automatización.

En este trabajo se realiza una evaluación de características particulares correspondientes a diversas marcas y modelos, se realiza la información técnica para modelos que puedan ser destinados a la monitorización y procesamiento de señales.

Para la comprobación práctica en la instrumentación, se utilizó una PDA (iPAQ214), un *smartphone* (MotoQ) y un *pocket pc* (HTC Tynnt II). Se ofrecen las especificaciones de los dispositivos móviles empleados en los ensayos; ellos se resumen en la Tabla I. Esta información técnica se describe en la segunda columna y son desarrollados según su importancia en el campo de la Instrumentación.

Un factor de interés son las herramientas para la conversión de un dispositivo móvil convencional a un instrumento de medición [1], [6-8]. Se ilustran dos aplicaciones de instrumentación para emplear dispositivos PDA, *Smartphone* y *Pocket PC*, como equipos limitados a visualizar los datos adquiridos y como verdaderos instrumentos con controles e indicadores para automatizar un proceso. Se finaliza con una fracción de algoritmo de un monitor cardíaco, aplicación de dispositivos móviles en telemedicina que permite graficar la señal ECG (electrocardiograma), con la posibilidad de enviar mensajes o realizar llamadas automáticas, en caso de una emergencia médica.

II. MARCO TEÓRICO

A. Terminos:

Pocket PC, denominado así por la empresa Microsoft, surgió a inicios del 2000 y causó un impacto en la población mundial por sus funciones, que en la actualidad aún se le denominan incorrectamente *Pocket PC* a cualquier dispositivo de bolsillo. El *Pocket PC* era un modelo de móvil (celular) o

PDA bajo sistema operativo Windows CE (Compact Edition), empleado por diversas marcas comerciales.

Una PDA (Personal Digital Assistant) es un ordenador de mano, con limitaciones en su hardware; una PDA no tiene los servicios telefónicos de un Smartphone.

Un Smartphone es un móvil (celular) con sistema operativo y aplicaciones similares a una PDA.

Los anteriores son sistemas embebidos y portátiles.

Utilizar un dispositivo móvil con el valor agregado para ser empleado en la instrumentación, debe tener en cuenta las características propias del equipo y en caso de requerir transferencia de información, el dispositivo debe ser compatible con la plataforma que ofrecen las compañías de servicio.

Para definir las terminologías en los dispositivos móviles y reflejar sus características técnicas, se ilustra en la Tabla I, un resumen de los tres dispositivos a usar y que serán evaluados en forma teórica y experimental.

TABLA I

TABLA COMPARATIVA DE DISPOSITIVOS MÓVILES EMPLEADOS.

MOTOROLA MOTO Q MAYO 2006 	64x117x11.5 mm, 115 g, Windows Mobile 5.0, 32 bit Intel XScale PXA270, 312 MHz CPU, 64 MiB RAM, 64 MiB ROM, Pantalla 2.4" 320x240 color TFT, audio 2.5 mm, CDMA800/CDMA1900, CDMA2000 1xEV-DO, SDIO/miniSD, Puerto Proprietario, IR, Bluetooth, Teclado QWERTY, cámara 1.2 MP, batería 1130 mAh
HTC TYNTN II P4550 (HTC Kaiser 120) Sept. 2007 	59x112x19 mm, 190 g, Windows Mobile 6, 32 bit Qualcomm MSM7200, 400 MHz CPU, 128 MiB RAM, 256 MiB ROM, Pantalla táctil 2.8" 240x320 GSM850/GSM900/GSM1800/GSM1900/UMTS850 /UMTS1900/UMTS2100, GPRS, EDGE, HSDPA, microSD/microSDHC/TransFlash/SDIO, mini-USB, Bluetooth, WLAN, GPS, A-GPS, QuickGPS, Teclado QWERTY, cámara 3.1 MP, cámara secundaria, Batería 1350 mAh.
HP iPAQ 200/210/211/212/214. 	75.4x133.8x17.4 mm, 192 g, Windows Mobile 6, 32 bit Marvell PXA310, 624 MHz CPU, 128 MiB RAM, 256 MiB ROM, Pantalla táctil 4" 480x640 TFT, CF I/CF II/MMC/SD/SDHC/SDIO, mini-USB, Bluetooth, WLAN, Batería 2200 mAh.

Fuente: <http://pdadb.net> Fecha de referencia Octubre 2009.

B. Hardware y tecnologías para móviles:

Se Inicia con las diferentes plataformas tecnológicas y servicios en las telecomunicaciones para luego mencionar las características resaltantes del propio dispositivo (sistema operativo, procesador, memoria, pantalla, teclado, conectividad) sin mencionar, no por ser menos importante, su

robustez, peso y el tiempo de alimentación producto de sus baterías.

Plataformas tecnológicas:

Las redes de telefonía móvil, se pueden clasificar de acuerdo a su aparición y según sus estándares, en:

1) Redes Europa occidental:

NMTS, GSM, UMTS y HSDPA

2) Redes Norte América:

AMPS, TDMA (IS54, IS136), CDMAone (IS95A, IS95B), CDMA2000 y CDMA 2000 1xEv, UMTS

Red de Datos:

CSD, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, HSPA+, LTE.

La Tabla II intenta diferenciar y simplificar la evolución de las generaciones y los años de aparición, velocidad y servicios así como las tecnologías mundiales [9-12].

TABLA II.

CRECIMIENTO DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES.

Aparición	Descripción	Tecnología
1G Años 80	Señal Analógica Solo Voz	NMTS, TACS, FDMA, AMPS
2G Años 90	Señal Digital: Voz y Datos 9 a 14,4 kbps Commutación de Circuitos Mensajes Cortos (SMS) 64 a 171 kbps.	PDC, TDMA, CDMAone GSM,
2,5G Inicios 2000	Commutación de Paquetes IrDA, Bluetooth, WAP Inicia Serv. Mult. Móvil (MMS)	GPRS, EDGE, CDMA2000 1x
3G Actualidad	384 kbps a 2 Mbps Calidad de voz, seguridad, capacidad y servicios simultáneos (MMS, GPS, Video)	CDMA2000, UMTS TD-SCDMA
3,5G Algunos Países	Servicios anteriores + TV Transmisión 3,5 Mbps	CDMA2000 EV-DO CDMA2000 EV-DV HSDPA
4G Futuro Cercano	Integración de Redes Serv. anterior, TV alta definición, Seguridad, Movilidad. 40 Mbps	LTE

AMPS (Advanced Mobile Phone Service), FDMA (Frequency division multiple access), PDC (Personal Digital Cellular), TDMA (Time Division Multiple Access), GSM (Global System for Mobile communication), CDMA (Code Division Multiple Access), GPRS (General Packet Radio Service), EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution), UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems), EV-DO (EvolutionData Optimized), EV-DV (Evolution Data/Voice), TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA), HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access), LTE (Long Term Evolution).

Su crecimiento se refleja en velocidad, seguridad, inmunidad al ruido y servicios, entre otros. Como se mencionó, cada país tiene una corriente tecnológica con frecuencias específicas asignadas, para ser utilizadas por cada empresa de servicio de telecomunicaciones. Por ello, existen algunos dispositivos tribanda o cuatribanda, liberados (sin

derechos por la empresa), que podrán ser empleados en diferentes países.

Debe entenderse que existen entes reguladores, como: ETSI (European Telecommunications Standards Institute) [13], ITU (International Telecommunication Union) [14], 3GPP (International Telecommunication Union)[15] FCC (Federal Communications Commission) [16].

En caso de querer adquirir un dispositivo para ser aplicado a la instrumentación, con apoyo de los servicios tecnológicos móviles, se debe conocer las tecnologías, empresas de servicio y sus frecuencias disponibles en el mercado a ser empleado; tales como los enlaces de las referencias [17-19].

Sistema Operativo (OS):

Existe toda una diversidad y guerra de mercadeo en este tópico. Entre los más nombrados en la actualidad, se tiene los de licencia de documentación libre o GNU/Linux: Nokia Maemo y Google Android y los Propietarios: Palm OS, Windows Mobile, Windows CE, Apple Newton, luego iPhone OS, BlackBerry OS, Symbian OS/EPOC. Aunque también existen variantes entre versiones de un mismo sistema operativo [3-5].

Para la programación enfocada en la instrumentación, es necesario buscar sistemas abiertos o con entornos de desarrollo que sean compatibles con los sistemas operativos y que proporcionen herramientas de programación y documentación para hacer uso completo de los recursos existentes en los dispositivos.

Procesador:

Hoy en día los móviles (celulares), smartphone y PDA son todos de 32 bits. Entre los fabricantes más conocidos encontramos: Intel, Samsung, Marvell, Texas Instruments, Qualcomm, Freescale, (entre otros); ofrecen habitualmente procesadores con velocidad desde 312 MHz hasta 624 MHz, según su modelo. Otras características de importancia son: el tamaño de su cache, su potencia o consumo, modos ahorradores de energía, su controlador de sistema o chipset, velocidad de transferencia, tecnología para el manejo de punto flotante, multihilo o procesados de aplicaciones en paralelo, tamaño físico y disipación [20].

Memoria:

Se encuentra una variedad en tipos de memoria, capacidad y velocidad. Un resumen de ellas se muestra en la Tabla III; en forma sintetizada existen:

- a) Memorias internas volátiles o RAM que tienen capacidad de 64 MB hasta los 192 MB en cambio las no volátiles ROM o del tipo Flash hoy en día se encuentran entre los 64 MB hasta los 1024 MB.
- b) Dispositivos con ranuras de expansión para tarjetas de memoria flash del tipo CF, MMC, SD y SDHC (siglas

definidas en la Tabla III). La siguiente tabla refleja un resumen de sus siglas, clasificaciones y características

TABLA III
 TARJETAS DE MEMORIA, TIPOS Y CARACTERÍSTICAS.

CF (Compact Flash), existen tres tipos:			
CF I de 3.3 mm, CF II de 5 mm y CFast			
MMC (Multi Media Card) capacidad máxima de 4 GB			
SD (Secure Digital) : Capacidad máxima de 4 GB			
Sus formatos: SD, miniSD, microSD (TransFlash o T-Flash)			
	SD	miniSD	microSD
Largo (mm)	24	20	11
Ancho (mm)	32	21,5	15
Espesor (mm)	2,1	1,4	1
SDHC (Secure Digital High Capacity)			
Capacidad: 4 GB a 32 GB.			
Dispositivos con logo SDHC soportan tarjetas SDHC y SD.			
Velocidad de transmisión según su clase:			
Clase2 (2 MBps), Clase4 (4 MBps), Clase 6 (6 MB por segundo)[17]			

Los dispositivos PDA y móviles que soportan SDIO pueden usar dispositivos receptores como GPS (Global Position System), Wi-Fi (Wireless Fidelity) o adaptador Bluetooth, modem, lector de código de barra, adaptador IrDA, cámara digital y otros, diseñado para dimensión SD [21],[22].

Pantalla:

Una visualización adecuada, no consiste sólo en una pantalla grande y a color, con buena resolución. Aunque estos factores son influyentes, su costo también es afectado. Dependerá de la aplicación y de cuanta información o controles virtuales desees o se requieren colocar. Debe entenderse que en general las aplicaciones para móviles emplean pocas opciones, motivado por las limitaciones de pantalla y en especial, de cómputo.

Sin embargo, se recomienda emplear pantallas táctiles de dimensiones superiores a 2.8 pulgadas; ya que por lo general, un instrumento tiene pulsadores o también botones rotatorios (perillas) que se deben manipular. Lo que hace limitado su control en los dispositivos móviles con pantallas no táctiles; es decir, modificar estos valores únicamente con un teclado y no poderlos tocar como es habitual por los humanos, implica un limitante a considerar.

Teclado:

Una pantalla táctil resuelve la necesidad de teclado; sin embargo, de ser posible, se prefiere tener en forma adicional teclado QWERTY, ya que estos agilizan el ingreso de información solicitada. Preferiblemente la opción de teclados deslizantes (ubicados debajo de su pantalla) por no afectar la información en pantalla (teclados virtuales) o limitar el tamaño de pantalla; de lo contrario el tamaño del dispositivo deja de

ser atractivo para su portabilidad. Dado la diversidad de modelos en el mercado, los fabricantes deben proporcionar recursos (drivers, emuladores) para su correcto uso.

Conectividad:

Una de las funciones más empleadas en la instrumentación es la adquisición de datos y/o su intercambio de información con otros sistemas electrónicos. La presencia de puertos en los dispositivos móviles permite esta interconexión, los cuales emplean un canal de comunicación inalámbrico (infrarrojo, Bluetooth, Wi-Fi) o cableado (Puerto Serial, USB u otro). Esta conectividad brinda alternativas para realizar la adquisición o transmisión de datos con sistemas electrónicos propios o desarrollados por empresas dedicadas a la automatización. Entre las disponibilidades actuales de conexión, tenemos:

Conexión inalámbrica:

Infrarrojo (IrDA) requiere que el receptor de luz se encuentre alineado de su emisor. Para interconectar dos dispositivos a distancias menores de 1 m. Es una tecnología con limitación en velocidad de transmisión, interferencia y seguridad comparada con otras conexiones inalámbricas.

Bluetooth (IEEE 802.15), emplea ondas de radio frecuencia a 2.4 GHz, la versión define la velocidad de transmisión (Tabla IV) y su clase la distancia de cobertura (Tabla V), aunque este último no se menciona en las características de los móviles.

TABLA IV
 VELOCIDAD EN BLUETOOTH SEGÚN SU VERSIÓN.

Bluetooth 1.2	1 Mbps
Bluetooth 2.0+EDR(Enhanced Data Rate)	3 Mbps

TABLA V
 CLASIFICACIÓN DE COBERTURAS SEGÚN SU POTENCIA.

Clase	Potencia Máxima	Distancia máx. (m)
1	100 mW (20 dBm)	100
2	2,5 mW (4 dBm)	10
3	1 mW (0 dBm)	1

Wi-Fi (IEEE 802.11), los dispositivos móviles que lo poseen vienen con antena interna y sólo soportan los literales “b” y “g”, lo que implica que operan a 2,4 GHz y a velocidad de 11 Mbps y 54 Mbps respectivamente.

Conexión por cable:

Puerto Serial (RS232), los móviles que poseen puerto serial, trabajan hasta 115200 bps y utilizan conector propietario, no estándar (dificultades para identificar las líneas Rx/Tx/GND).

USB la mayoría de los dispositivos móviles informan que tienen USB; sin embargo es del tipo USB Client, útil para transferir datos con el ordenador; sin embargo, para que un

móvil pueda controlar a otro dispositivo, como por ejemplo un pendrive o una tarjeta de adquisición, se requiere que sea del tipo USB Host.

Software para móviles:

Para programar un dispositivo móvil, se debe desarrollar con un lenguaje de programación desde un ordenador, bajo el entorno de un lenguaje de programación. Probar su código con un emulador antes de ser ejecutado desde el equipo móvil, empleando una máquina virtual similar al sistema operativo que posea el móvil. Finalmente trasladar la aplicación creada en modo ejecutable desde el ordenador al dispositivo de mano. Por ello, se clasifican las herramientas como:

Lenguaje de programación Existe una variedad de ellos, varían según su lenguaje y sistema operativo en que funciona (limitado por el fabricante), aunque otros como JavaME permiten ser utilizados en diferentes PDA con Java. Algunos de ellos son:

- eMbedded Visual C, C#, C++ compiler
- Visual Basic
- LabVIEW con Mobile Module
- CodeWarrior C/C++
- NokiaWAP Toolkit
- GCC (GNU C Compiler),
- GDB (GNU Debugger)
- J2ME (Java MicroEdition)
- Qt
- Phyton

Emulador de PDA: Permite utilizar una PDA virtual en el ordenador, ejecutándose sobre el sistema operativo del dispositivo. Emuladores que varían según el sistema operativo. Ejemplo:

Para Windows CE existe:

Pyram-ID Software's XT-CE o también WindowsCE emulator, proporcionado por Microsoft's eMbedded Visual Tools.

Para Palm OS: se dispone de POSE (Palm OS Emulator)

Java posee el Emulador: *J2ME Wireless Toolkit 2.0*

Otros vienen incluidos en sus entornos de desarrollo (editor, compilador, emulador), como por ejemplo:

- Visual Studio (desde la Versión 2008)* y
- Sun One Studio Mobile Edition.*

Máquina virtual con el Sistema Operativo del Mobile a programar; requerido para ejecutar el Emulador compatible con el dispositivo PDA, para verificar el código desarrollado.

Ejemplo: En caso de utilizar una Pocket PC, se requiere instalar la versión “Microsoft Virtual PC 2007” para 32 bits o 64 bits dependiendo del sistema operativo empleado en el ordenador [23].

Programa de transferencia de archivo entre el PC y el PDA o Smartphone. Empleado para transferir el ejecutable del programa diseñado. Ejemplo: Para los Pocket PC, se requiere instalar “ActiveSync” soportado por Windows XP o versiones

anteriores y “Mobile Device Center” para Windows Vista. Descargado de la página de Microsoft [24].

III. IMPLEMENTACION

Motivados a que los dispositivos eran todos basados en Windows Mobile, se emplearon herramientas compatibles con Microsoft, se utilizó como lenguaje de programación, el módulo para PDA de LabVIEW versión 8.5 de la empresa National Instruments [6-8],[25] ya que ella también integra el emulador de PDA con la máquina virtual y la transferencia del archivo ejecutable al dispositivo móvil [24].

Para realizar sus pruebas experimentales, se realizaron dos aplicaciones como se describe a continuación:

Aplicación Nro. 1 Móvil como instrumento básico de medida: Posee sólo indicadores, como se ilustra en la Fig.1, los cuales actualizarán sus valores según los datos recibidos. El usuario se encontrará limitado para realizar ajustes en los parámetros de adquisición, como por ejemplo: tiempo de muestreo, ganancia, selección de canal.

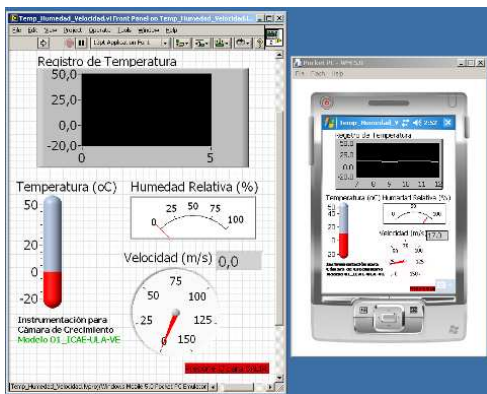


FIG. 1 EJEMPLO SIN CONTROLES. EDITOR DEL PROGRAMA (Izquierda) Y EMULADOR (Derecha).

A la izquierda de la Fig. 1 se ilustra el panel frontal (código fuente) de la aplicación creada con LabVIEW ejecutándose bajo Windows XP; a la derecha se tiene el Emulador con la aplicación bajo el sistema operativo Windows Mobile como máquina virtual.

La Fig. 2 ilustra en los dos dispositivos, cinco indicadores reflejando tres mediciones: temperatura, velocidad y humedad. Ellos están programados sólo para realizar y visualizar las adquisiciones, sin realizar entradas o modificar parámetros. Para este caso particular de la instrumentación, como no se requiere manipular entradas, no es requisito dispositivo con pantalla táctil.



FIG. 2. PDA y MÓVIL CON INDICADORES.

En la figura se tiene una PDA (iPAQ) y un Móvil (HTC), se observa las limitaciones por tamaño de pantalla para observar las letras pequeñas; también existe una ligera variación (color y forma) en comparación con su código fuente (Fig.1). Por pruebas realizadas, se recomienda emplear un tamaño de letra no menor a 18 pt, ya que luego de crear el código en el ordenador, se procede a reducir la pantalla de la aplicación en un factor según dimensión del dispositivo.

Note que esta aplicación no requiere manipular controles ya que sólo posee Indicadores y se finaliza la ejecución presionando una tecla, por ello un Móvil o PDA sin pantalla táctil es completamente factible para su uso.

Aplicación Nro. 2 Móvil para el control de temperatura, dado una rampa de calentamiento:

La pantalla del ordenador para este nuevo proyecto se refleja en la Fig. 3, se ilustra una aplicación común para distintas ramas de la ciencia y la ingeniería, donde se desea una temperatura controlada para evaluar el comportamiento en la muestra. En éste caso, se requiere ingresar o modificar parámetros previos a una ejecución. Para no llenar la pantalla de información, sólo se emplean tres controles, con tres indicadores. Se debe ingresar en la matriz de datos de entrada las temperaturas que se desean alcanzar en los tiempos correspondientes, luego se podrá iniciar el experimento, ilustrando la fase de su proceso en el indicador alfanumérico. La temporización se realiza sin emplear interrupciones por hardware motivado a la flexibilidad en la curva característica del calefactor.

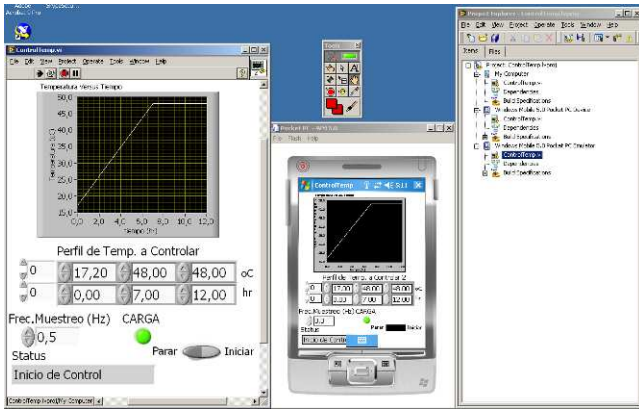


FIG. 3. EJEMPLO CON CONTROLES. EDITOR DEL PROGRAMA (izquierda), EMULADOR (centro) Y PROYECTO (derecha).

Su implementación en los dispositivos móviles se muestra en la Fig. 4. Se observa que todos los indicadores y controles funcionan correctamente, a diferencia del Emulador (Fig. 3 central) botón inferior derecho correspondiente a Inicio y fin del proceso que se observa como un rectángulo negro y sin poder conmutar.



FIG. 4 PDA Y MÓVIL CON CONTROLES E INDICADORES

Ejemplo en telemedicina [2]:

Adquisición, visualización, procesamiento, almacenamiento y transmisión de una señal ECG (electrocardiográficas) para un paciente cardiópata. El diagrama de la Fig. 5 ilustra como ejemplo, una fracción de Algoritmo para implementar un monitor cardíaco. Aplicación que en los actuales momentos se encuentra en construcción, aunque ya se han probado las notificaciones automáticas.

Se observa que según los resultados del procesamiento de una señal ECG, se notifica inmediatamente al centro de salud o médico de cabecera de un paciente con enfermedad coronaria crónica.

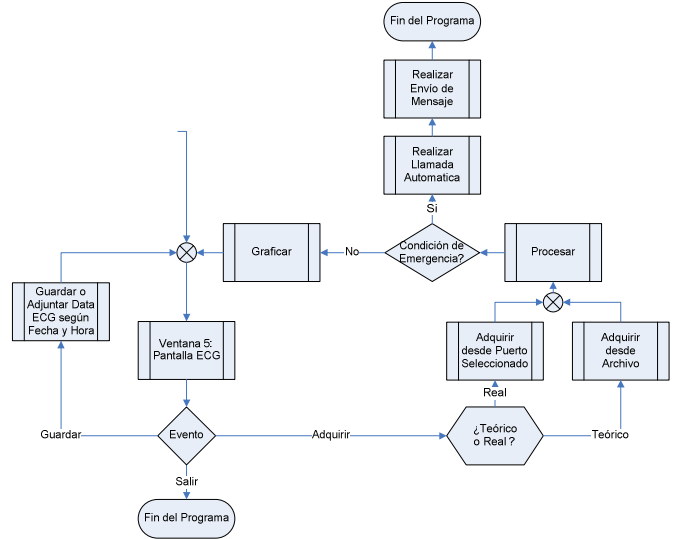


FIG. 5. ALGORITMO, MONITOR CARDÍACO PARA DISPOSITIVO MÓVIL.

IV. RESULTADOS

Se mencionaron ventajas y desventajas tanto en el aspecto físico, como informático, de distintos dispositivos de mano aplicada a la telefonía móvil existente en el mercado mundial; así como, el crecimiento de las tecnologías móviles, sus coberturas y sus frecuencias de operación según su ubicación.

Se comprueba que los entes reguladores y las alianzas entre empresas de servicios de telefonía han unificado criterios para buscar un crecimiento productivo sin mayor costo al integrar sus tecnologías, hoy en día UMTS/HSDPA y apuntando a una 4ta generación unificada.

Se brindó explicación de las herramientas de desarrollo bajo ambiente Windows Mobile empleando dispositivos móviles de diversas marcas y tecnologías, así como la implementación de aplicaciones en el área de la instrumentación y sus pruebas, al igual que referenciar ejemplos de instrumentación Biomédica empleando Bluetooth.

Por lo general, los dispositivos de bolsillo catalogados en sus especificaciones como USB, son del tipo USB Client, el cual no soporta la colocación de una tarjeta de adquisición; por ello se seleccionó con cuidado hasta encontrar los definidos como USB Host. Para el caso del iPAQ214 que originó dudas en su documentación, se realizó pruebas con un teclado USB y un pendrive en el conector miniUSB, y se encontró su tipo; ésta reconoce el pendrive como un disco duro. Mayores velocidades de adquisición, requieren el tipo USB 2.0. Para trabajo intensivo y con buenas especificaciones, se encontraron los PDA Industriales tales como Datalogic JET, Pegaso y en caso personal, los modelos HP iPAQ614c, SoMo 650DX-M, HTC TYNTN II Kaiser P4550, aunque son de costo relativamente elevados.

Otro inconveniente encontrado son las incompatibilidades entre las distintas herramientas y dispositivos, según las versiones del sistema operativo empleado tanto en el ordenador (computador) como en el propio móvil o PDA. Un ejemplo de ello fue las versiones para las transferencias de archivos ejecutables entre el PC y el móvil. Ejemplo ActiveSync 4.2 es compatible con MotoQ y Windows Mobile5, pero no compatible con el HTC e iPAQ (Windows Mobile6); la versión 4.5 de ActiveSync es compatible con todos los dispositivos, pero solo para Windows 98/2000/XP. Para la versión Windows Vista, se requiere instalar en el computador la versión de Windows Mobile Device Center.

La segunda aplicación indica que se deben emplear dispositivos móviles con pantalla táctil, de esta forma se tendrá plena manipulación de los controles ilustrados en su pantalla. Esta recomendación facilita la interfaz hombre-máquina al poder manipular con la mano o lápiz los controles.

Se demostró los cambios en formas y funcionamiento de algunos objetos al hacer uso del emulador. Limitante que afecta las pruebas de las aplicaciones en construcción.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El dispositivo a elegir debe poseer puertos necesarios para la entrada de señal según la frecuencia de muestreo y poseer frecuencias de las redes según la compañía de servicio a suscribirse; por ello, las especificaciones técnicas es más importante que las marcas comerciales.

Las limitaciones en cantidad de objetos y su calidad de visualización conllevan a seleccionar dispositivos con pantallas mayores a 2,5"; así como la creación de varias pantallas virtuales para aplicaciones que lo requieran.

Los teclados para controlar aplicaciones causan aumento en código y espacio de memoria, como complejidad en algoritmo y uso. Se prefiere los eventos de control por pantalla táctil.

Para la adquisición de datos, se recomienda emplear: Bluetooth o Puerto USB Host según la tarjeta de adquisición de datos a utilizarse y no los puertos propietarios.

La limitación de emuladores y variedad de modelos o distribución de los teclados físicos, causan en ocasiones fallas en las pruebas virtuales; sin embargo, su aplicación podría funcionar en dispositivos reales.

Por el continuo crecimiento de los ordenadores de bolsillo y de tecnología móvil, se recomienda una revisión periódica sobre sus cambios tecnológicos y disponibilidades en las empresas de países donde se desee emplear los servicios.

REFERENCIAS

- [1] Jon Titus, "Put an Instruments in your Palm, Test and Measurement World". EDN, January 2002.
- [2] Kevin Hung, Yuan-Ting Zhang. "Implementation of a WAP-Based Telemedicine System for Patient Monitoring". IEEE Transactions On Information Technology In Biomedicine, Vol. 7, No. 2, June 2003.
- [3] Microsoft Windows (Enero 2009) "Compare versions of Windows Mobile" Disponible en <http://www.microsoft.com/windowsmobile/en-us/meet/version-compare.msp>
- [4] Victor Pimentel (Diciembre 2008). "Android Sistema Operativo Libre para Móviles". <http://www.genbeta.com/2007/11/06-android-un-sistema-operativo-libre-para-moviles-promovido-por-google>
- [5] TuxMobil (Noviembre 2008) "Teléfonos Móviles con LINUX y aplicaciones". Disponible en http://tuxmobil.org/phones_linux.html
- [6] National Instruments (Enero 2009). "Getting Started with the LabVIEW PDA Module for Windows Mobile" Disponible en <http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/4D27FC13987028B7862572FF0050C77C>
- [7] National Instruments (Enero 2009). "What's New in the LabVIEW 8.5 PDA Module" <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6202>
- [8] National Instruments (Enero 2009). "What Is the LabVIEW Mobile Module?" Disponible en <http://www.ni.com/labview/mobile>
- [9] Alberto Sendín Escalona, "Fundamentos de los Sistemas de Comunicaciones Móviles, Evolución y Tecnologías". McGraw-Hill Madrid, España 2004.
- [10] José Manuel Huidobro, "Comunicaciones Móviles". Thomson Paraninfo, Madrid, España, 2002.
- [11] CDG CDMA (Enero 2009) "CDMA Developed Group" Disponible en <http://www.cdg.org>
- [12] Tom Farley (Febrero, 2009), "Mobile Telephone History". Disponible en <http://www.privateline.com/PCS/history.htm>
- [13] ETSI (Enero, 2009). "European Telecommunications Standards Institute". Disponible en <http://etsi.org/>
- [14] ITU (Enero 2009) "International Telecommunication Union". Disponible en <http://itu.org/>
- [15] 3GPP (Enero 2009). "International Telecommunication Union". Disponible en <http://3gpp.com/>
- [16] Federal Communications Commission (Enero 2009). "Third Generation Wireless System". Disponible en <http://www.fcc.gov/3G/>
- [17] 2G-cdmaOne (Enero 2009). "2G cdmaOne Operators". Disponible en http://www.cdg.org/technology/product_pavilion/cdmaOne_operators.asp
- [18] GSM (Enero 2009). "GSM Operator Map". Disponible en http://www.3gamericas.org/index.cfm?fuseaction=dsp_map
- [19] 3G-CDMA2000 (Enero 2009). "cdma2000 Operators". Disponible en http://www.cdg.org/technology/product_pavilion/cdma2000_operators.asp
- [20] Intel (Enero 2009). "Procesador para PDA de la Empresa Intel". Disponible http://download.intel.com/design/chipsets/embedded/prodbrf/Atom_Product_Brief.pdf
- [21] SD Association (Enero 2009). "Secure Digital High Capacity". Disponible en <http://www.sdcard.org/developers/tech/sdhc/>
- [22] SD (Enero 2008). "Secure Digital". Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Secure_Digital#SDIO
- [23] Microsoft download Center (Enero 2009). "Virtual PC 2007". Disponible <http://www.microsoft.com/downloads/details.aspx?FamilyID=04d26402-3199-48a3-afa2-2dc0b40a73b6&DisplayLang=en>
- [24] Windows phone (Enero 2009). "ActiveSync y Mobile Device Center". Descarga Disponible en: <http://www.microsoft.com/windowsmobile/en-us/help/synchronize/device-synch.msp>
- [25] National Instruments (Enero 2009). "Performing Handheld Measurements using LabVIEW Mobile and NI USB Data Acquisition Devices". <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/7705>

Métodos de Medición de Concentración de la Azúcar de Caña

Rubén Posada, Gerardo Águila, Anselmo Osorio, Nelson Aguilar Reyes, Daniel Villanueva Vásquez,
Alan Flores Mazahua

Resumen—Dentro del proceso de producción de azúcar de caña, en la etapa de cristalización es necesario identificar y modificar las características físicas de los cristales que se forman para definir un factor de calidad del producto, considerando una distribución homogénea del tamaño de cristal. Para esto, se requiere la medición constante de la concentración de azúcar, con el fin de controlar la formación de cristales a través de las diferentes variables del sistema, tales como: tiempo, temperatura y presión, principalmente. Actualmente, este proceso se supervisa manualmente por un operario siguiendo, por lo general, reglas heurísticas basadas en la observación, dando como resultado una variación en la calidad del producto. Debido a esto, en este trabajo se pretende identificar diferentes metodologías existentes para la medición de la concentración de azúcar de caña, que normalicen la toma de decisiones en el proceso de cristalización, y que no dependan totalmente del operador.

Palabras claves—Cristalización, Concentración de azúcar, Métodos de medición, Distribución de tamaño de cristal.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad ya se extraía el azúcar de la caña, quemándola, se cree que esta planta se cultivaba en la India, y fue conocida por los griegos y los romanos como miel de la India. Hay indicios que los chinos desde tiempos remotos también conocían el proceso de extracción y refinamiento del azúcar, hirviendo la planta de azúcar en agua hasta que se evaporaba el líquido. El azúcar de remolacha surgió en 1812, en la época de Napoleón; por otra parte, la sacarina fue descubierta en 1879, [1, 2]. Desde esas épocas hasta la fecha el proceso de obtención de azúcar se ha ido mejorando considerablemente, aun así la fase de cristalización donde se forman los cristales de azúcar continúa siendo un reto a vencer, debido a que en este punto es donde se controlan las propiedades físicas del producto final, en cuanto a polaridad,

Artículo recibido el 5 de Abril de 2010. Este artículo fue financiado parcialmente por FOMIX CONACYT-VERACRUZ, MEXICO, Proyecto 41691 "Optimización del proceso de evaporación-cristalización mediante el diseño de observadores no lineales"

R.P.G., G.A., N.A.R., D.V.V. y A.F.M., están con el Instituto Tecnológico de Orizaba, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Oriente 9 No. 852, Col. Emiliano Zapata, C.P. 94320, Orizaba, Veracruz, México. Tlf. +52-272-7244096, +52-272-7244016, Fax +52-272-7251728, E-mail: nelsonaguilar@hotmail.com, daniel_villavas@hotmail.com, alan_flores@hotmail.com

A.O. está con la Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Prolongación Oriente 6 No. 1009, Col. Rafael Alvarado, C.P. 94340 Orizaba, Veracruz, México, Tlf/Fax. +52-272-7240120, +52-272-7241779, E-mail: anselmo_osorio@yahoo.com, anosorio@uv.mx.

color, ceniza y humedad, así como la concentración de sacarosa en grados Brix de las masas cocidas a cristalizar; lo que da como resultado la calidad del mismo [3, 4].

En la actualidad, la producción de azúcar en América Latina y el Caribe es de 52.7 millones de toneladas, hasta la zafra 2007-2008, y México es uno de los principales países productores de azúcar de caña a nivel mundial, contribuyendo con 5,7 millones de toneladas por zafra, con un promedio nacional de 71 ton/ha. En este contexto, el Estado de Veracruz es el principal productor con una aportación de 68 ton/ha. Debido a esto, es imperioso desarrollar tecnologías que incrementen la producción y la calidad del producto final en cuanto a rendimiento, pureza y distribución del tamaño de cristal formado; con el fin de enfrentar el reto actual de la industria azucarera en México sobre la liberación total, desde enero de 2008, del comercio de edulcorantes con los Estados Unidos (USA), en el marco del Tratado de Libre Comercio (TLC) de América del Norte. [5-7]

Actualmente, se han desarrollado diversas metodologías para medir la concentración en la evaporación y cristalización de soluciones azucaradas (meladura y templeas o masas cocidas), por ejemplo, en [8] se realiza un seguimiento de la cristalización de azúcar mediante procesado de imágenes con *wavelets*. Otra metodología, utiliza un equipo como el Brixmaster, que se basa en la ley de Stokes, y una *Pipeta Pasteur* como el principio de funcionamiento de un dispositivo para medir la concentración de azúcar [9]. Además, en 2006, se publicó un estudio prospectivo sobre la llamada técnica de análisis rápidos del futuro, como lo es la Espectroscopía de Infrarrojo Cercano, NIR (Near Infrared), [10]. Una técnica de medición por infrarrojo para determinar la calidad de la fruta, utilizando un guante, se presenta en [11]. Mientras que, en [12], se utiliza información espectral NIR, para la diferenciación de grasas y aceites. De igual forma, algunos grupos de investigación trabajan en radiación por infrarrojo (IR) para bajar costos de producción [13].

Puesto que la producción de azúcar, a partir de remolacha o caña, es actualmente una de las industrias agroalimentarias más importantes en países de clima templado; estas industrias azucareras se encuentran casi completamente automatizadas, principalmente en países desarrollados, excepto en algunas etapas donde el seguimiento se continúa realizando de forma manual y con apoyo de instrumentos que le dan al operador una idea relativa a su experiencia de la concentración de azúcar en ese momento de prueba. Una de estas etapas es la

cristalización, que precisamente es una de las fases más importantes para producir azúcar de calidad con una distribución de tamaño de cristal determinado, es aquí donde radica la contribución y relevancia de este trabajo, que se enfoca principalmente a identificar diferentes metodologías existentes para la medición de la concentración de azúcar de caña, que normalicen la toma de decisiones en el proceso de cristalización, y que no dependan totalmente del operador de este tipo de equipos [3, 7, 8, 14, 15, 16].

II. PROCEDIMIENTO

A continuación se presenta una clasificación sucinta de los métodos que se disponen para aplicación en la industria azucarera, ya sea en investigación o a nivel industrial.

Una categorización definida de los métodos de medición de concentración de azúcar en líquidos polares, no existe como tal. Sin embargo, de forma genérica se pueden precisar dos grupos, en primera instancia, que dependen de lo que se va a medir; si es el valor de la variable directamente a cuantificar, o se medirán los efectos de ésta reflejados en alguna otra variable. De esta forma, los grupos quedarían como: 1) métodos directos y 2) métodos indirectos. Otra forma de clasificar los métodos de medición depende de, si el método es invasivo, o no. Para ambas clasificaciones se pueden definir nuevas divisiones que impliquen un método particular de medición, tal como:

1) Ópticos: Por Refractometría

a) Se mide cuantificando la frecuencia de *refracción* de la luz en el medio y se asocia el valor a la concentración de azúcar.

b) Se mide cuantificando la frecuencia de *reflexión* de la luz en el medio y la asocia a la concentración de azúcar.

c) Se mide cuantificando la frecuencia de *absorción* de energía transmitida por IR al medio y la asocia a la cantidad de azúcar presente.

2) Por Radiación, Se compara la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto, y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia. Se fundamenta en las leyes de Lambert y Beer, en donde se indica que la cantidad de radiación absorbida depende de la concentración de la solución y de la distancia recorrida por la luz, ver Tabla I.

Esta metodología es una de las que se emplean con mayor frecuencia, debido a su selectividad, pues las ionizaciones, transiciones electrónicas, deformación y rotación de enlaces y transición de spin, responden molecularmente, lo que indica que son capaces de reconocer la molécula del azúcar únicamente, entre varias moléculas existentes en el medio que se tomará la muestra, de tal manera que, al estudiar cualquiera de los efector indicados, estarán directamente relacionados con la concentración de azúcar existente por unidad de volumen en el medio que se hace la medición, y de esta manera, poder tener una medida lo más cercana posible al valor real de la variable, que en este caso es concentración de azúcar.

TABLA I
MÉTODOS POR RADIACIÓN PARA MEDIR CONCENTRACIÓN EN SOLUCIONES AZUCARADAS.

RADIACIÓN	Efecto Estudiado
Rayos X y Cósmicos UV-Visible	Ionización de las moléculas Transiciones electrónicas entre los orbitales atómicos y moleculares
Infrarrojo	Deformación de los enlaces químicos
Microondas Radiofrecuencias	Rotaciones de los enlaces químicos Transiciones de spin electrónico o nuclear en los átomos de la molécula

3) Peso, con base en la ley de Stokes. Se mide la densidad de un líquido mediante el peso, velocidad, flotabilidad y gravedad en un líquido con concentración de azúcar variable. El proceso consta colocar una solución de H₂O en un recipiente de volumen conocido, por lo cual al aumentar la concentración de azúcar, el peso de la solución aumentaría, proporcionalmente también se presenta como el tiempo que tarda un objeto en llegar al fondo del recipiente cuando se deja caer en el líquido a medir, a mayor concentración de azúcar tardara mas en caer.

4) Peso Relativo. Método empleado: la *Pipeta Pasteur*. Mide la densidad de un líquido comparándolo con otro que ya se conoce mediante un objeto de peso fijo y que flota parcialmente en el líquido medido. Su flotación varía dependiendo de la concentración de azúcar. El principio se basa en la flotabilidad del objeto dentro de una solución con concentración conocida, por lo que el objeto flotara menos o más dependiendo si su densidad interna es menor igual o superior a la del líquido usado para la flotabilidad.

5) Dieléctrico / Resistencia. Debido a que la solución agua-azúcar es una mezcla no electrolítica, se toma esta propiedad como, dieléctrico para relacionarla con la concentración de azúcar, debido a que la resistencia del medio aumenta a mayor concentración de azúcar. En esta técnica se requiere de un generador de frecuencia y amplitud fija, lo que determinara un capacitor que dependa únicamente del dieléctrico el cual variará en base a la cantidad de azúcar en el líquido, para lograr la selectividad se trabaja con la frecuencia de resonancia de la molécula de azúcar, amplificando esta para asociarla al valor de la variable medida. Los logros hasta este momento dan buenas expectativas pues la respuesta de las pruebas preliminares presentan una respuesta cercana a la linealidad entre 40 y 80 grados Brix en el trabajo que se está desarrollando.

6) Tensión Superficial. La tensión varía con la densidad o concentración del líquido y su temperatura, por lo que se mide esta para relacionarla con la concentración de azúcar.

7) Capacidad Calorífica. Como la capacidad calorífica del agua es la unidad, se toma este dato para medir cómo varía la capacidad del agua para absorber calor de acuerdo al incremento del contenido de azúcar.

8) Reconocimiento de Imágenes. Esta tecnología realiza el análisis de una imagen y la compara con un patrón

predefinido, tiene como objetivo igualar el resultado obtenido al patrón. Para esta técnica se utilizan filtros digitales que permiten depurar las imágenes para lograr la contabilización, e identificación de la geometría del cristal, en este proceso se tiene que extraer una muestra y fotografiarla a microscopio para poder iniciar su análisis, una vez con la imagen obtenida se binariza, y se procede a la cuantificación en base a perímetros cerrados, se mide el área, y cantidad de figuras por unidad de espacio, se promedia y muestra los resultados, cuantificados. Dicho resultado se compara con el método de refractometría normal para corroborar la efectividad y veracidad del método empleado. En esta etapa el reconocimiento en base a patrones toma importancia, debido a que el tiempo de proceso se reduce considerablemente, dando como resultado optimización en el proceso de la medición.

III. ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS

Con base en lo descrito se puede inferir que las metodologías para la medición de concentración de azúcar son múltiples y variadas; sin embargo, la mayoría de ellas se usan solo como apoyo para fortalecer la decisión del operador de cómo y en qué momento controlar y/o terminar el proceso de cristalización, debido a que su lectura solo es estimativa, como el caso de los métodos 3, 4, 6 y 7, citados anteriormente. O bien el margen de error no es aceptable, como en el caso de los métodos 2 y 5. También, se encuentran métodos considerados como ideales por su selectividad y sensibilidad tal como los métodos 1 y 8; aunque estos tienen dos grandes desventajas, Una es el tiempo de sensado que al ser manual requiere un intervalo por muestra de 30 min, debido a que debe tomarse la muestra y dejarse enfriar para evaluarla; después al valor resultante se le aplica un factor de corrección por temperatura para obtener el valor final de la variable. Este proceso implica un error humano considerable en tiempo y temperatura al efectuar la medición óptica [17-19].

La tecnología actual corrige la primera desventaja con sistemas de autodiagnóstico, autocalibración y automonitoreo. Pero dan como resultado una segunda gran desventaja, el costo. Este factor toma importancia cuando dichos valores en dinero son comparativos con los gastos de producción y utilidades de la empresa; debido a que se requieren varios sensores de este tipo para que el control del proceso y la calidad del producto sea la esperada.

La necesidad actual de poder optimizar el proceso de medición de la concentración de azúcar, en tiempo y dinero, implica un punto importante en la investigación sobre mejores métodos de cómo resolver un problema existente. Las metodologías de sensado y sus instrumentos son la piedra angular de un sistema de monitoreo y control, debido a que dependen del lazo de control mismo, de la sensibilidad y confiabilidad de la lectura y de la selectividad de los sensores para desarrollar su función de una manera óptima. Esto implica que los métodos para medir concentración de azúcar en líquidos polares se pueden enfocar a diferentes áreas de estudio, como medicina, para medición de azúcar en la sangre,

en la industria de alimentos, para medir concentración de azúcar en procesos de caña, uva, piña, néctares, mermeladas, etc, [20, 21, 22, 23]. La importancia de conocer las diferentes metodologías para medir la concentración de azúcar queda asociada a la calidad del producto resultante y a su participación en la economía del país. Por lo que identificar el tipo de metodología a emplear dará como resultado mediciones reales que posibilitan la determinación de los valores de control óptimos, traduciéndose en ahorros energéticos que se reflejan en la reducción de costos sobre el proceso y una mejora en la calidad del producto.

IV. APLICACIÓN

La mayoría de las metodologías requieren de un equilibrio costo-beneficio, para su aplicación efectiva, sin embargo, también es factible buscar nuevas tecnologías de bajo costo que den resultados aceptables y comparativos con tecnologías de alto costo. Para lograr esto se requiere el estudio de nuevos campos o bien retomar los ya existentes y redefinirlos, para corregir los errores por los cuales fueron descartados.

En la actualidad el método capacitivo para medir concentración de azúcar por dieléctrico variable, y los métodos relativos de medición de densidad están renaciendo, a través del análisis de la forma de corrección y mejora de la selectividad y sensibilidad para ser competitivos con las metodologías tecnológicamente efectivas en la medición de la concentración de azúcar utilizadas en la actualidad.

En México, en el Instituto Tecnológico de Orizaba, la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana y el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, se está trabajando actualmente en la investigación y desarrollo de metodologías de medición de concentración de azúcar y hay dos vertientes definidas, una por reconocimiento de imagen y otra por dieléctrico variable, en ambas se han obtenido resultados aceptables, tales como la selectividad y sensibilidad, del instrumento, que son comparables a los instrumentos existentes, sin embargo, se continúa en el desarrollo y mejora de ambas técnicas [7, 22, 23].

En este trabajo se considera principalmente, la técnica por dieléctrico variable, como caso de aplicación de la medición de la concentración en soluciones azucaradas.

Se propone una solución posible al problema de sensado en el proceso de cristalización de azúcar, de forma que se proporcione al operario correspondiente la información objetiva del estado en que se encuentra el proceso. La solución se basa en el análisis de las mediciones captadas por el cambio en las propiedades dieléctricas de la mezcla, aplicando la ley de Gauss y usando el fluido como dieléctrico; se mide la admitancia del mismo, y tomando en cuenta el tiempo de carga de un capacitor con dieléctrico variable, se hace un barrido en frecuencia para determinar el incremento o decremento de su capacitancia, asociándola a la concentración de azúcar. Finalmente se unen todos estos aspectos para aplicar un factor

de corrección por software que identifique únicamente la variable de interés.

La metodología para aplicar ésta técnica consiste básicamente en: identificar tipo, forma y materiales de un sensor capacitivo; definir las características del dieléctrico, mediante el uso de la ley de Gauss, para obtener la variable de interés; definir los factores de corrección y selectividad del sensor, tomando en cuenta la temperatura, el dieléctrico, amplitud, frecuencia y fase de la señal inducida en el mismo sensor.

Entonces, de acuerdo a la metodología mencionada se trazaron los objetivos siguientes: *Identificar el tipo y forma del capacitor, para implementar el sensor*; el capacitor es de tipo electrolítico, de corriente directa y de forma cilíndrica. *Identificar los materiales para la implementación de un sensor capacitivo con dieléctrico variable*; materiales de construcción: PVC (policloruro de vinilo) y aluminio. *Definir el principio de funcionamiento del sensor*; de acuerdo a las características del material de construcción del capacitor, considerando el material del dieléctrico, la permitividad relativa, el espacio libre y la constante dieléctrica, la distancia entre las placas, factor de disipación del capacitor o factor de potencia, así como la rigidez y absorción dieléctrica; así, los factores más afectan al capacitor son la tensión, temperatura y la frecuencia. *Identificar los valores de voltaje y frecuencia a aplicar al sensor. Definir los posibles factores que alteren el funcionamiento de un sensor capacitivo con dieléctrico variable*; rendimiento volumétrico, tensión de prueba, tensión de formación, tensión de fundido, fallas por autocurado, descargas internas, geometría del capacitor, capacidades distribuidas y concentradas. *Desarrollar un algoritmo de caracterización de un sensor capacitivo tomando en cuenta la variación de las propiedades de su dieléctrico. Desarrollar un algoritmo de selectividad para el sensor capacitivo asociado a la concentración de azúcar.*

Los resultados de la solución analítica-numérica que se obtiene al considerar la técnica de medición por dieléctrico variable se muestran en las Figs. 1-6. El valor del capacitor en picofaradios, PF, se muestra en la Fig. 1. La corrección por temperatura del valor del capacitor se presenta en la Fig. 2. La temperatura de medición en grados centígrados, °C, se muestra en la Fig. 3. Mientras que, el factor de corrección por temperatura que se utiliza se muestra en la Fig. 4. La constante del medio dieléctrico se puede observar en la Fig. 5. En la Fig. 6, se muestra el valor de permitividad, en faradios por metro, F/m, del capacitor que se va a construir, para el sistema de medición de concentración en soluciones azucaradas.

Estos resultados, se obtuvieron como pruebas preliminares que se realizaron, inicialmente, en forma numérica para determinar las condiciones de trabajo del sensor a diseñar y construir para su aplicación en soluciones azucaradas a nivel laboratorio y posteriormente a nivel industrial en fábricas de azúcar.

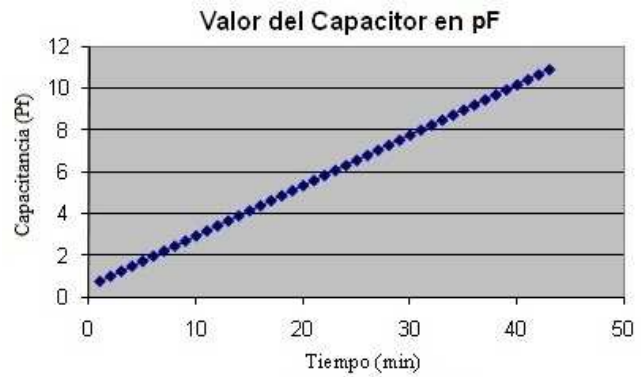


FIG. 1 Valor del capacitor a diseñar, en pico-faradios.

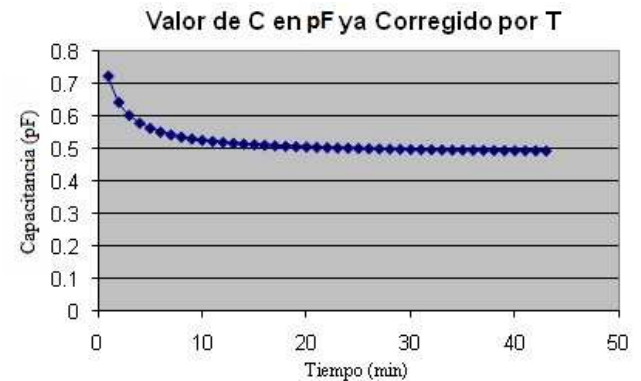


FIG. 2 Valor del capacitor con corrección por temperatura.

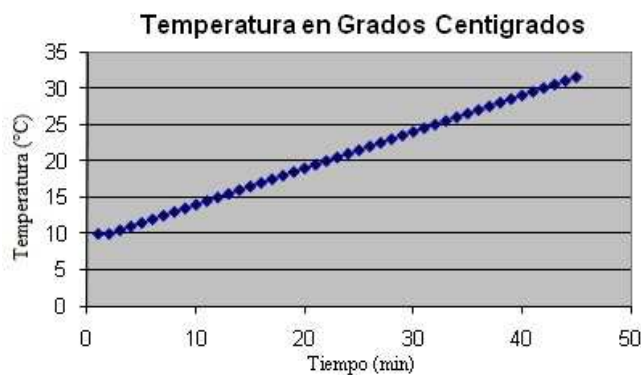


FIG. 3 Temperatura de medición, en °C.

En pruebas experimentales preliminares, que por razones de tiempo no se muestran aquí, se obtuvo la frecuencia de resonancia molecular, a través de un análisis molecular en soluciones azucaradas y comparando con un patrón de mediciones de concentraciones conocidas. Esto se realizó mediante la inducción con generadores de frecuencia y se analizó su respuesta mediante filtros activos digitales, para lograr una respuesta selectiva sobre la variable medida. En corridas experimentales posteriores, se espera afinar la metodología de sensado de la variable de interés.

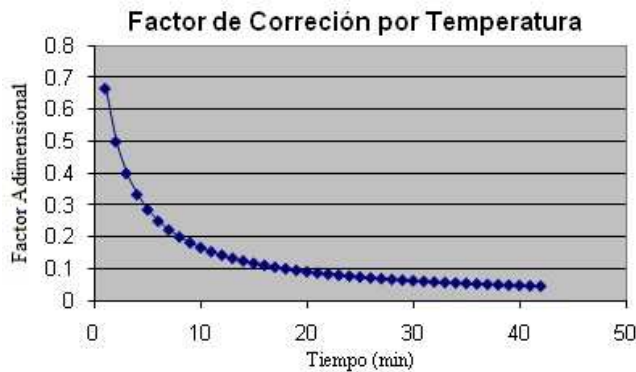


FIG. 4 Factor de corrección por temperatura que se utiliza.

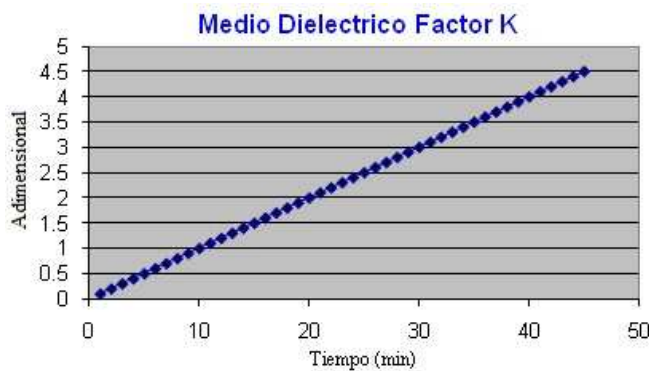


FIG. 5 Constante dieléctrica, k.



FIG. 6 Permitividad, Eo, en $F\ m^{-1}$.

V. CONCLUSIONES

En el caso de la técnica de medición por dieléctrico variable descrita en este trabajo, el principal problema a resolver fue la selectividad, considerada como causa principal por la que este método se deshecho en el pasado. El fundamento básico para la solución del problema es la frecuencia de resonancia molecular, la cual es única para cada molécula en particular. La perspectiva sobre este técnica es halagüeña por lo que se continua en el desarrollo de experimentos para afinarla y ponerla en marcha en experimentos a escalas mayores y a nivel industrial.

Por la parte del reconocimiento de imagen, que aunque aquí no se menciona ampliamente, también se han tenido resultados importantes, tales como la cuantificación, forma y tamaño del cristal formado en el proceso de cristalización de azúcar, mediante la comparación de imágenes binarizadas y filtradas que proporcionan un valor porcentual de la cantidad de azúcar, en general, y en lo particular el número total de cristales, su forma y tamaño por unidad de volumen. En este sentido los logros son la confiabilidad sobre la cantidad, forma y tamaño de las partículas formadas, y sobre la variable medida: concentración de azúcar. Actualmente, se está trabajando en el proceso de toma de muestras y el tiempo de análisis entre muestras, para la implementación a escalas de operación mayores.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece todo el apoyo técnico-científico de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana (Campus Orizaba), el Instituto Tecnológico de Orizaba y el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, para el desarrollo de este proyecto multidisciplinario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Casares, "El Azúcar, Cronología". Buenos Aires, Argentina, (Enero 2007). Disponible en <http://www.educar.org/INVENTOS/azucar.asp>
- [2] "El Azúcar y Edulcorantes". Disponible en <http://historiagastronomia.blogia.com/2008/042902-la-historia-del-azucar.php> (Marzo 2008)
- [3] NMX-F-275-1983. "Alimentos-muestras de Jugos de Especies Vegetales Productoras de Azúcar, Sólidos y Peso (Método Hidrométrico) Método de Prueba", México.
- [4] C. A. Browne. "Physical and Chemical Methods of Sugar Analysis". John Wiley and Sons, Inc., New York, 1955.
- [5] "Estadísticas Mundiales de Producción de Azúcar". Disponible en http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/CANHA_AZUCAR.PDF (Jul. 2008)
- [6] Depósito de Documentos de la FAO. "Perspectivas Alimentarias. Análisis del Mercado Mundial" (Noviembre 2007). Disponible en <http://www.fao.org/docrep/010/ah876s/ah876s07.htm> (03/04/2010)
- [7] Osorio Mirón A. "Optimización del Proceso de Evaporación-cristalización mediante el Diseño de Observadores no Lineales", Proyecto 41691 (2006-2009), FOMIX CONACYT-Veracruz, México, 2006.
- [8] F. Toledo, T. Álvarez, Susana Gonzáles. "Seguimiento de la Cristalización de Azúcar mediante Procesado de Imágenes con Wavelets". Departamento de Ingeniería de Sistemas Automáticos, Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid, 47005 Valladolid, España, 2005.
- [9] "Brixmaster Prospective Innovations CC", 2004, P.O. Box 5500, Somerset-West 7135, South-África.
- [10] T. Groenewald. "Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIR)". http://www.engormix.com/s_articles_view.asp?art=276&AREA=POR (Ago. 2008)
- [11] "Proyecto FAIR PL97-3399". Glove Cemagref (UMR ITAP) y la Sociedad VERHAERT, Comunidad Europea, 2007.
- [12] J. Bautista, A. Garrido Varo, J.E. Guerrero, D. Pérez Marín. "Utilización de Información Espectral NIR para la Diferenciación de Grasas y Aceites". Departamento de Producción Animal ETSIAM

- Universidad de Córdoba, España, 2005.
- [13] **“Espectrometría de Infrarrojo Próximo y su Contribución al Diagnóstico de las Patologías Gastrointestinales”**. Asociación Española de Farmacéuticos Analistas, Madrid. España, 2005.
- [14] P. Haykin. **“Neural Networks. A Comprehensive Fundation”**. Mc Millan College Publishing Company, USA, 1994.
- [15] R. A. McGinni. **“Beet Sugar Technology”**. Beet Sugar Development Foundation, USA, 1971.
- [16] E. S. González. **“Sensor Inteligente Para el Proceso de Cristalización de Azúcar”**. Tesis de Doctorado, Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 1998.
- [17] Información técnica. **“Instrumentación Industrial”**. Disponible en http://www.atago.net/Spanish/products_pal.php (Sep. 2008)
- [18] Información técnica. **“Instrumentación Industrial”**. Disponible en <http://www.kruess.com/refractometers+M5d637b1e38d.htm> Sep 1 (Sep. 2008)
- [19] Información técnica. **“Automatización de Almíbares y Medición de Grado Brix”**. Mettler Toledo S.A. de C.V. México D.F. Disponible en www.mt.com/refractometry (Octubre 2008)
- [20] Información técnica. **“Instrumentación Industrial”**. Disponible en <http://www.equiposparaingenios.com.mx/promtec01.htm> (Oct. 2008)
- [21] Información técnica. Disponible en http://es.mt.com/mt/ed/productCS/BeverageNews_03_04_Editorial-Generic_1177328604228.jsp (Nov. 2008)
- [22] R. Posada, D. Villanueva, A. Osorio, G. Águila, N. Aguilar. **“Automatización del Proceso de Cristalización de Azúcar en un Evaporador-Cristalizador mediante Procesamiento Digital de Imágenes”**. Presentado en el 9º Congreso Interamericano de Computación Aplicada a la Industria de Procesos, CAIP 2009, Montevideo, Uruguay, 25-29 de Agosto de 2009.
- [23] R. Posada, D. Villanueva, G. Alor, A. Osorio, L. A. Sánchez. **“Medición de la Cristalización de Azúcar mediante el Procesamiento Digital de Imágenes como Herramienta de Monitoreo en un Evaporador-Cristalizador”**. 2do. Congreso Internacional de la Academia Mexicana Multidisciplinaria, AMM 2009. Tampico, Tamps., México. Marzo 25-27, 2009; p. 154. ISBN 978-607-95209-0-8.