

CONCORDANCIA ENTRE LAS MEDICIONES DEL SOFTWARE BIOMAT Y LA MÁQUINA DE PRUEBAS UNIVERSALES AUTOGRAPH AGS-J

José Fernando Pérez* • Robert Antonio Ramírez**.

*Laboratorio de Instrumentación Científica, Facultad de Ciencias. **Cátedra de Operatoria Dental, Departamento de Restauradora, Facultad de Odontología. Universidad de Los Andes. Mérida - Venezuela.
E-mail: robertramirez@ula.ve

RESUMEN

En odontología, los dientes, los tejidos periodontales y materiales que los sustituyen, están sometidos a fuerzas que inducen tensiones y se rigen por las leyes de la física mecánica. Los objetivos de este trabajo son el desarrollo del software *ad hoc* BIOMAT (sB) a través de la instrumentación computarizada de la máquina de pruebas universales Autograph AGS-J (MPU-A) y la determinación el nivel de concordancia entre los instrumentos de medición sB y la MPU-A. Se identificaron las señales analógicas en la MPU, correspondientes a las variables de deformación y fuerza, con un conector DB9 se adaptó la tarjeta de adquisición de datos NI USB6009 (National Instruments) al puerto USB del computador. Luego se desarrolló el software bajo instrumentación en lenguaje de programación gráfica orientada a objeto: LabVIEW (National Instruments). Posteriormente se fabricaron 22 muestras de resina compuesta Filtek™ Z100 (3M ESPE), 14 de ellas para prueba de flexión en 3 puntos y 8 para prueba tensión diametral (ISO 4049-2000), dichas muestras fueron sometidas a tensión hasta su ruptura, los datos se recolectaron en hoja de cálculo en unidad de escala Newton. Para el análisis estadístico se usó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) basado en un modelo de análisis de varianza de medidas repetidas del paquete estadístico SPSS 19. Los resultados en promedio y desviación típica fueron sB 996,93 (1284) y MPU-A 998,09 (1286). El ANOVA muestra un valor $p=,028$ en las diferencias significativas para intra sujetos. El CCI = 1 (IC: 95% 1-1). En las condiciones en las que se realizó esta instrumentación el nivel de concordancia fue el mejor posible, entre el sB y la MPU-A, de tal manera que se pudieron aumentar las posibilidades del instrumento.

Palabras clave: instrumentación, interfaz hombre-máquina, propiedades mecánicas, concordancia entre las mediciones.

BIOMAT'S SOFTWARE MEASUREMENTS CONCORDANCE AND UNIVERSAL TESTING MACHINE AUTOGRAPH AGS-J.

ABSTRACT

In dentistry the teeth, periodontal tissues and their replacing materials, are subject to forces that induce stress and are governed by the laws of mechanical physics. The aims of this work are the development of an ad hoc software BIOMAT (sB) through the instrumentation of a universal

testing machine, Autograph AGS-J (MPU-A) and the level of concordance between measurement instruments sB and the MPU-A. To comply with the proposed, analog signals of the RS232 serial port were identified on the MPU, with a DB9 connector the data acquisition card NI USB6009 (National Instruments) was connected and so communication was achieved with PC. Then, the software was developed under instrumentation using object-oriented programming (OOP): LabVIEW (National Instruments). Then 22 samples were made of dental composite Filtek™ Z100 (3M ESPE), 14 of them for 3 points flexural strength test and 8 for diametral tensile strength test (ISO 4049-2000), the samples were subjected to strain until rupture, the data was collected. For statistical analysis intraclass correlation coefficient (ICC) was used, based on a model of repeated measures analysis of variance of with the SPSS 19 statistical packages. The results on mean and (standard deviation) were SB 996.93 (1284) and MPU-A 998.09 (1286). The repeated measures ANOVA shows a value $p = ,028$ with significant differences for within-subjects. The CCI = 1 (CI: 95% 1-1). Under the conditions we have made this instrumentation, the level of concordance was the best possible, between the SB and MPU-A, so that could increase the possibilities of the instrument.

Key words: instrumentation, human machine, interface, mechanical properties, consistency in measurements.

Introducción

El BIOMAT es un laboratorio que se caracteriza por sus actividades de investigación en biomateriales dentales y docencia en la Facultad de Odontología de la Universidad de Los Andes (ULA). Dentro de las labores de investigación se encuentra el estudio de las propiedades mecánicas de nuevos materiales diseñados y utilizados para los dientes y tejidos periodontales. Para ello se aplican fuerzas externas y se estudia la tensión inducida sobre las muestras hasta lograr su fractura o deformación permanente, luego se analizan y se hacen estimaciones de cómo sería su comportamiento, que se puedan tomar decisiones clínicas acertadas, ya que estas fuerzas simulan los movimientos de la masticación, contactos oclusales, el bruxismo y traumas, (1,2).

El Autograph es un instrumento de gran precisión que permite aplicar fuerzas en forma controlada para analizar la tensión de las muestras en estudio. Motivado a los costos de adquisición de sus accesorios, se solicitó la asistencia técnica del personal del Laboratorio de

Instrumentación Científica, LIC - Facultad de Ciencias, (LIC-Ciencias) (ULA), para elaborar una interfaz que permitiera la adquisición, procesamiento y almacenamiento de los datos de fuerza y deformación en función del tiempo. El Autograph, máquina de prueba universal ofrecida por la empresa Shimadzu, modelo AGS-J, es un equipo de costo elevado dada su precisión y seguridad, básicamente para aplicaciones genéricas, que permite realizar pruebas de resistencia mecánica, elasticidad, plasticidad, fragilidad, tenacidad y dureza, aplicando fuerzas a velocidades controladas (3). La seguridad en la muestra y operario ocurre por medio de sensores y dispositivos de bloqueo, la unidad ofrece conexión a computador y registradores; sin embargo, son accesorios de alto costo con software genérico para las mediciones en estudio, no adaptado para el estudio de materiales y piezas dentarias; por tal motivo se recurrió al LIC-Ciencias (ULA).

La instrumentación de aparatos electro-mecánicos es empleada en diversas áreas de

la ingeniería, bioingeniería, ciencias de la salud y otras áreas del saber, ya que permiten obtener datos que serán utilizados en el desarrollo de materiales y tejidos que serán usados tanto en modelos animales como humanos (4, 5), esta instrumentación generalmente se obtiene de galgas extensiométricas o por medio de LVDT (Linear Voltage Differential Transformer), cuyas señales son acondicionadas para ser digitalizadas, motivado a la no linealidad del primero o baja relación señal / ruido.

Finalmente se procedió a probar la fiabilidad del instrumento de medición desarrollado, ya que al tener dos instrumentos de medida para un mismo fenómeno es interesante estudiar hasta qué punto los resultados obtenidos son equivalentes, por ello el objetivo de este trabajo es determinar el nivel de concordancia entre el software BIOMAT desarrollado previamente a partir de la instrumentación en lenguaje LabVIEW y la máquina de pruebas universales Autograph AGS-J.

Materiales y Métodos

Se inicia con una evaluación física-técnica del Autograph AGS-J, luego se desarrolla la instrumentación computarizada que permita aumentar los recursos que brinda la unidad Autograph AGS-J, mediante el registro continuo de datos y detección de las zonas de la curva tensión/deformación, que permitan graficar y almacenar los datos provenientes de las pruebas mecánicas a través de un software ad hoc (software BIOMAT).

Previo a la instrumentación, se realizó un estudio de las características del Autograph AGS-J, para conocer su plano eléctrico, actuadores, transductores características de fuerza y dureza.

Características de seguridad del equipo son:

Detención o parado automático cuando el cambio en la prueba de fuerza excede el valor especificado en la condición de configuración.

Botón de parada forzosa o de emergencia, a través del interruptor extra grande ubicado en la zona frontal inferior izquierda del equipo.

El rango del movimiento del cabezal de prueba de esfuerzo, tiene la posibilidad de ser limitado mecánicamente; para su detección se utiliza un sensor fotoeléctrico.

Se constató que presenta alto grado de operatividad y seguridad, con posibilidad de trabajar como unidad aislada ó con software propietario para ser usado con computador.

Otras características son:

- Velocidad variable prefijada por el operador.
- Extensa área de trabajo, con dimensiones (ancho x profundidad x altura = 680 x 510 x 1615) expresado cada uno en milímetros.
- En la pantalla se ilustran siete segmentos de los valores actuales de fuerza y desplazamiento, mostrando sus valores máximos de fuerza y elongación al punto de ruptura después de concluido el análisis.
- Puerto de comunicación serial RS232 y conector DB9 como puerto analógico para registrador (Figura 1).



Figura 1. Puertos del AGS-J

El software es operado antes ó después de la corrida. Durante la misma no se requiere su manipulación el equipo se detiene por sí solo.

Los resultados son almacenados en forma automática.

Tiene diversidad de accesorios según los requerimientos del usuario, con modelos que varían en capacidades desde 1 Newton hasta los 250 kN. En este caso se trata del AGS-J con celda de 5 kN.

Constatado el correcto funcionamiento del Autograph, se inició el análisis minucioso con mínima intervención por personal en instrumentación para mantener su originalidad y funcionalidad.

Las mediciones efectuadas reflejaron que la tierra o referencia y salida correspondiente a fuerza como desplazamiento fueron detectadas en los terminales 1, 4 y 5 del conector DB9 (Figura 3) correspondiente al puerto de salida para registradores.

En todo momento existe la salida de tensión correspondiente al desplazamiento; sin embargo, se consiguió que la tensión de salida perteneciente a la fuerza aplicada es habilitada en el momento en que se inicia una presión en el porta muestra asociado a la celda.

El diagrama general simplificado del sistema eléctrico de la unidad en estudio que se ilustra en la (Figura 2), muestra los niveles de protección y seguridad del equipo para efectuar cualquier medición.



Figura 2. Diagrama de Bloque del Autograph AGS-J.

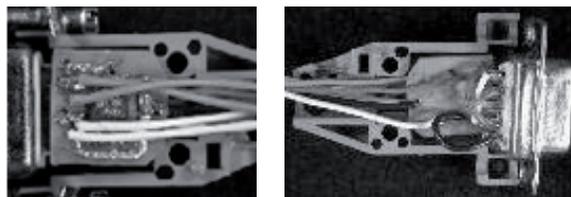


Figura 3. El conector DB9 con tarjeta Electrónica de Protección, Cara de Componente y Soldadura.

Finalmente, se identificaron, estudiaron, obtuvieron y procesaron las señales analógicas provenientes del puerto de salida, por medio de un osciloscopio TDS210 Tektronix y multímetro Fluke 83. Por tratarse de un equipo con certificación europea (CE) reciente y patrones calibrados, los resultados por puerto paralelo deben corresponder con las salidas por pantalla del propio Autograph.

El Hardware:

Consistió en un computador compatible con procesador Pentium M 715, memoria DDR de 512MB, disco duro de 60GB y disponibilidad de puerto USB para ser conectado a una tarjeta de adquisición de datos NI USB6009, de la empresa *National Instruments* (6), el cual fue conectado a su vez al puerto analógico del Autograph AGS-J.

Para la protección y adquisición de los datos, se elaboró con tecnología encapsulada de montaje superficial, una electrónica básica como lo es el seguidor de tensión, el cual permite el acoplamiento de impedancias y brindar la tensión de entrada sin ser perturbado por el efecto de carga (7); así los módulos independientes de seguidor de tensión permitirán la lectura analógica de la información proveniente de los sensores de fuerza y desplazamiento. La tarjeta elaborada fue insertada dentro del diminuto espacio del conector DB9 (Figura 3), con el propósito de brindar protección bilateral, es decir, evitar daños al computador y al Autograph AGS-J por motivo de falla eléctrica. A su vez, el cable que acopla el equipo Autograph

AGS-J con la tarjeta de adquisición USB 6009, para enviar los datos al computador vía puerto USB (Figura 4).

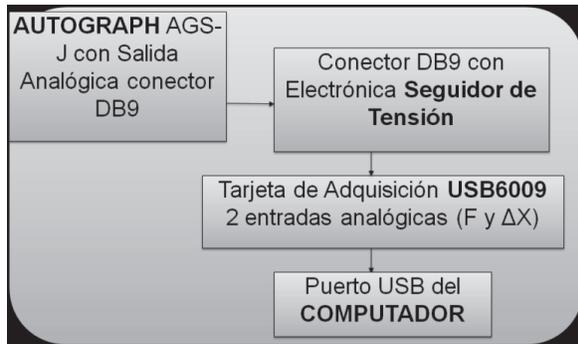


Figura 4. Diagrama de bloque del hardware requerido para la instrumentación del AGS-J.

El Software:

Los distintos programas elaborados para este trabajo fueron desarrollados en lenguaje de programación gráfica orientada a objeto: LabVIEW de la empresa National Instruments (8,9). LabVIEW es un programa enfocado a la instrumentación; muestra de ello es la calidad gráfica de controles, indicadores y en especial sus librerías; con ello se logra un ahorro incalculable en horas – hombre de programación.

Se procedió a elaborar un programa con ambiente gráfico que no causara rechazo por el operador; así, el acostumbrado teclado y pantalla indicadora del equipo fue ubicado en forma similar en la pantalla del computador.

Se diseñaron letras de gran tamaño y contraste, para que el operador pueda ver con facilidad los valores actuales de desplazamiento y fuerza.

Basados en el análisis de datos previos, el programa informa al usuario las condiciones óptimas de fuerza y desplazamiento máximos a usarse como medida de protección, así como la adecuada velocidad de desplazamiento que es determinada por la naturaleza y forma de la muestra. Se puede cambiar el tiempo de adquisición y el promedio o filtrado de datos.

Se inició con una imitación del teclado y pantalla correspondiente. En ella se ilustran los valores de fuerza y desplazamiento, con la posibilidad de modificar sus unidades kilogramo-fuerza, Newton (kgf, N) y milímetros, pulgadas (mm, plg) respectivamente.

Seguidamente en el mismo panel del instrumento virtual, se colocaron los campos correspondientes a nombre del operario, tipo de muestra, tiempos de adquisición de datos, nombre del archivo de datos a crear y por defecto, si el campo permanece vacío, se genera el nombre de forma automática, correspondiente a la fecha y hora de inicio del experimento.

Para efectuar un experimento, se prefirió trabajar en modo de pantallas básicas que permite la simplificación entre la interfaz hombre-máquina. Dichas pantallas tienen indicadores y controles virtuales necesarios para los propósitos.

Para facilitar el trabajo del investigador, se elaboró un programa que no requiere de usuario experto en computación para su ejecución.

Para el usuario final, (investigador de odontología), se desarrolló un programa con tres pantallas, según el estado del proceso: presentación, configuración, adquisición-procesamiento.

La primera pantalla informa los requerimientos del sistema, como son las interconexiones y las consideraciones.

Al aceptar las condiciones se abre la pantalla de configuración, la cual permite la elección de unidades, calibración a cero de ambas variables de medición, ganancia de salida para fuerza y deformación, la identificación del usuario y observaciones previas ó hipótesis del experimento.

La pantalla de adquisición es iniciada una vez que se han aceptado los valores configurados, lo que permite informar al usuario las condiciones de fuerza y desplazamiento desde su inicio, mediante gráficos independientes en

función del tiempo e ilustrando sus valores actuales en pantalla virtual (Figura 5), al igual que en el equipo Autograph AGS-J.

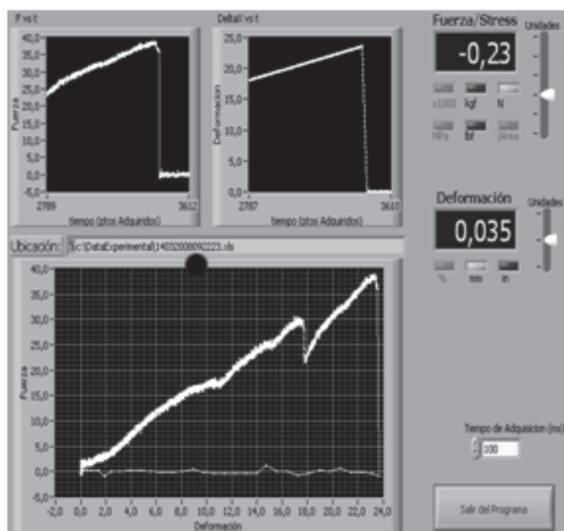


Figura 5. Pantalla de adquisición y procesamiento de datos personalizada según las unidades seleccionadas por el usuario.

Se adquieren datos cada 100 ms, con promedio de 10 valores para arrojar y almacenar su valor medio y eliminar así las variaciones producto de interferencias.

Posterior a este proceso, se presenta un archivo creado a partir de los datos de configuración, adquisición y procesamiento. Este archivo contiene cabecera de información con elementos predeterminados que identifican al laboratorio, fecha y hora del experimento, nombre del usuario, observaciones, tipo de material, tipo de prueba, datos teóricos y los datos adquiridos en forma automática a partir del experimento; los cuales se podrán manipular bajo una hoja de cálculo como por ejemplo el Excel (.xls), para así realizar comparaciones entre nuevos y viejos ensayos, además se logra toda la compatibilidad de las herramientas de la hoja y posibilita la exportación de datos a paquetes estadísticos.

Con la finalidad de validar el instrumento desarrollado se realizó una prueba de concordancia de la variabilidad de los instrumentos de medida, para lo cual se fabricaron 22 muestras de resina compuesta Filtek® Z100 (3M ESPE) Lz1a20905/1 Lot 9cy, Ref. 8004a2; 14 de ellas para prueba de flexión en tres y ocho puntos para prueba tensión diametral según norma ISO 4049-2000. Dichas muestras fueron sometidas a tensión hasta su ruptura, esos datos se recolectaron en hoja de cálculo en dos mediciones y en dos columnas. La primera para el dato observado en el Display del AGS_J y la otra su correspondiente valor en el software BIOMAT. El análisis estadístico fue el coeficiente de correlación intraclass basado en un modelo de análisis de varianza de medidas repetidas del paquete estadístico SPSS 19. El valor de $p \leq 0,05$.

Resultados

Se logró cumplir con el primer objetivo del trabajo que era desarrollar el software BIOMAT, los datos adquiridos reflejaron rápido y continuo cambio en el desplazamiento según la fuerza aplicada al mismo, con posibilidad de gráficos y análisis en función del tiempo y de ambas variables.

Para la realización de la prueba de concordancia de ambos instrumentos se fabricaron muestras de resina compuesta Filtek® Z100 (10,11) ya que ha sido uno de los materiales más estudiados en odontología y muchas veces se usa como estándar de oro en este tipo de ensayos. Se fabricaron dos tipos de pruebas según norma ISO 4049-2000 para resinas compuestas, la primera resistencia flexural en donde según el diseño y fabricación de la probeta se obtienen valores de fuerza alrededor de 50 Newtons en contraste de la prueba de resistencia diametral tensional en donde los valores están arriba de 2500 Newtons esto con la finalidad de observar la sensibilidad del instrumento.

Se realizó la estadística descriptiva de los promedios y desviación típica de los datos recolectados de ambos instrumentos de medición, en donde la escala de medición fue en Newton. El software BIOMAT 996,93 (1284) y Autograph AGS-J 998,09 (1286).

El ANOVA de medidas repetidas muestra un valor $p = ,028$ con diferencias estadísticamente significativas, en donde se atribuye la variabilidad a la diferencia intra sujetos y no a la inter sujetos (métodos de medición en este caso) (Tabla 1).

El coeficiente de correlación intraclase CCI (métodos de medición en este caso) obtuvo un valor = 1 (IC:95% 1-1), lo cual corresponde con la mayor concordancia posible, en este caso toda la variabilidad se explicaría por la diferencia entre las series de datos y no entre los métodos de medición. (Tabla 2 y Gráfico 1).

Discusión

La ingeniería biomédica nace de las necesidades y de los problemas derivados de las guerras y de la implementación de nuevas tecnologías en el área de la salud, eso llevó a que diversas disciplinas de la ingeniería junto con la medicina formasen profesionales que tuvieran las competencias para aplicar los principios de la ingeniería en los problemas médicos y biológicos (12). En nuestra experiencia podemos deducir que el trabajo experimental en un área poco conocida requiere de una revisión bibliográfica y estudio integral de los principios de funcionamiento de los instrumentos mecánicos y virtuales; así como una interacción constante con el usuario final para conseguir su satisfacción con la mayor simplicidad; además abre la posibilidad de seguir trabajado multidisciplinariamente con el fin de resolver un mayor número de necesidades.

Tabla 1. ANOVA de medidas repetidas.

ANOVA		Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-personas		69383862,341	21	3303993,445		
Intra-personas	Inter-elementos	14,782	1	14,782	5,576	,028
	Residual	55,669	21	2,651		
Total		70,451	22	3,202		
Total		69383932,792	43	1613579,832		
Media global = 997,5113						

Tabla 2. Coeficiente de correlación intraclase.

Coeficiente de correlación intraclase	Correlación intraclase	Intervalo de confianza 95%		Prueba F con valor verdadero 0			
		Límite inferior	Límite superior	Valor	gl1	gl2	Sig.
Medidas individuales	1,000	1,000	1,000	1246356,656	21	21	,000
Medidas promedio	1,000	1,000	1,000	1246356,656	21	21	,000

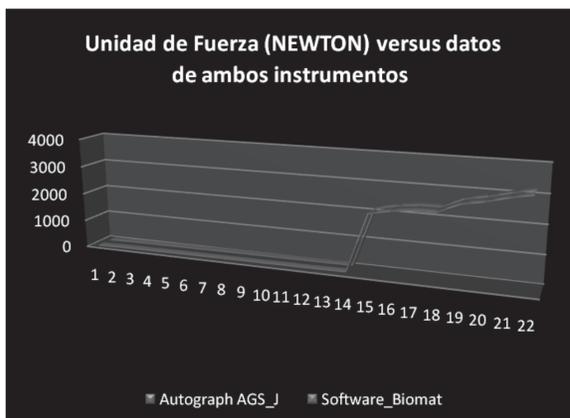


Gráfico 1. Concordancia de ambas series de datos versus unidad de fuerza.

LabVIEW es un lenguaje de computadoras gráfico orientado a objeto desarrollado para facilitar la comunicación entre el hardware y el software, con el cual se pueden obtener soluciones individuales para diferentes instrumentos que son fundamentales en la investigación y en las distintas fases de un desarrollo (13). Se pueden crear instrumentos virtuales que estéticamente luzcan como los instrumentos reales a los que se simula, pero controlados por programas de computadora altamente sofisticados (14). Estas características permiten la reducción de horas hombre en programación, mediante la elaboración de una herramienta con diversas pantallas y modos de controles; además se puede integrar diversas herramientas de control, almacenamiento y estadísticas, sin perder de vista la simplicidad necesaria para realizar la supervisión, el ingreso de condiciones y el manejo gráfico por parte de usuarios no programadores.

Otra ventaja observada en este desarrollo es la posibilidad de generar archivos con cabecera de reconocimiento del experimento y su matriz de datos, la cual puede ser leída por cualquier procesador de texto u hoja de cálculo, esto nos brinda una base de datos con la flexibilidad necesaria para usarse en la docencia, la investigación y la evaluación de experimentos en el futuro.

La odontología y en particular la ciencia de materiales no escapan del mundo de posibilidades al que nos acerca la instrumentación física y virtual con lenguaje LabVIEW. En Odontología ya se ha utilizado en el monitoreo de la integridad de selladores de fosas y fisuras (15) y en la valoración de pruebas de vitalidad pulpar (16). También se ha usado en la obtención, manejo y procesamiento del diagnóstico por imágenes, del tipo CT, mCT, OCT y 3-D FT, asimismo en instrumentos de laboratorio altamente sofisticados como el microscopio AFM (17-19). En cardiología se ha podido integrar a instrumentos de precisión quirúrgicos, aparatos de imágenes de alta definición, que se usan en intervenciones de tiempo real y favorecen el diagnóstico preciso de la enfermedad cardiovascular (20,21). En kinesología se han podido monitorear las cargas y presiones en articulaciones sometidas a terapia de rehabilitación (22). También ha sido una herramienta útil en las técnicas de laboratorio usadas en investigación; controlando instrumentos, mejorando la veracidad y repetitividad de las mediciones (23), en neurociencia se ha inspeccionando la estructura y función del cerebro (24,25), en ingeniería de tejidos, se controlan los bioreactores que contienen los andamios en donde se fabrican tejidos artificiales (26). Otra ventaja es la posibilidad del desarrollo de instrumentos virtuales que han servido a disciplinas como la microbiología en la simulación y predicción del comportamiento bacteriano (27), lo que se traduce en ahorro de tiempo, horas hombre y materiales. En la industria ha servido para simular situaciones necesarias para capacitar al personal técnico y profesional. Actualmente se están realizando investigaciones con el Autograph AGS-J y su nueva instrumentación, lo que nos ha permitido llegar a obtener beneficios similares a los de los desarrollos previamente comentados, al mismo tiempo con la virtualización se ha podido formar auxiliares, docentes y estudiantes en

investigación de materiales dentales y operatoria dental.

La fiabilidad del instrumento de medición indica hasta qué punto se pueden obtener los mismos valores al efectuar la medición en más de un momento. Cuando el objetivo es medir esta fiabilidad, se repite el proceso de medida para evaluar la concordancia entre los diferentes instrumentos de medida. Los instrumentos de medición arrojan datos numéricos continuos, por lo cual se hace frecuente utilizar el CCI (coeficiente de correlación intraclase) en donde la proporción de la variabilidad total se debe a la variabilidad de los sujetos y no a la de los instrumentos (28,29). En este estudio el valor de esa proporción fue el máximo posible, lo cual evidencia que el instrumento desarrollado (software BIOMAT) posee la capacidad de reproducir de manera confiable lo que es detectado por el Autograph AGS-J.

Nuestros resultados coinciden con los de Huerta y colaboradores en 2010 (30). En su experiencia, ellos construyeron una máquina de pruebas universales y la instrumentaron con LabVIEW 7.0; posteriormente utilizaron los valores conocidos de módulo de elasticidad y la resistencia a la fluencia de probetas poliméricas comerciales de baja dispersión evaluadas en una máquina de pruebas universales Shimadzu (AGI-100) y las compararon con sus datos, obteniendo como resultado un buen acuerdo entre ambas mediciones.

Conclusiones

En las condiciones en las que se realizó esta actividad, el nivel de concordancia entre los datos provenientes del software BIOMAT, desarrollado a partir de la instrumentación en lenguaje LabVIEW y la máquina de pruebas universales Autograph AGS-J fue la máxima posible.

La instrumentación que se le realizó al Autograph AGS-J, permitió aumentar los re-

ursos que brinda la unidad, ya que se pudo desarrollar un software amigable que permite obtener datos en tiempo real, pudiendo ser almacenados, analizados y compartidos a través de hojas de cálculo.

Agradecimiento al CDCHT de la ULA por el financiamiento y soporte prestado para hacer posible esta investigación (Código de proyecto O-221-08-07-B).

Referencias

1. Anusavice K. *Ciencia de los Materiales Dentales de Phillips*. 11a Edición. México, McGraw- Hill. 2004.
2. Macchi R. *Materiales Dentales*. 3a ed. Argentina, Editorial Médica Panamericana. 2000.
3. AUTOGRAPH AGS-J Series SHIMADZU Scientific Instruments inc. Recuperado el 4 de Mayo de 2009: <http://www.ssi.shimadzu.com/products/product.cfm?product=agsj>
4. Preiss-Bloom O, Mizrahi J, Elisseeff J, Seliktar D. Real-time monitoring of force response measured in mechanically stimulated tissue-engineered cartilage. *Artif Organs* 2009; 33(4):318-327.
5. Kunkel ME, Moral A, Westphal R, Rode D, Rilk M, Wahl FM. Using robotic systems in order to determine biomechanical properties of soft tissues. *Stud Health Technol Inform* 2008;133:156-165.
6. USB-6008/6009 USER GUIDE National Instrument. Recuperado el 4 de Mayo de 2009: <http://www.ni.com/pdf/products/us/20043762301101dlr.pdf>
7. Horowitz P, Hill W. *The Art of Electronics*. Press 2nd ed., USA, Cambridge University. 1993.
8. National Instruments, *LabVIEW 6.1 User Guide*, USA. 2001.
9. *LabVIEW Lenguaje de Programación G* National Instrument. Recuperado el 4 de Mayo de 2009: <http://www.ni.com/labview/>
10. Mirmohammadi H, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Rotating fatigue and flexural strength of direct and indirect resin-composite restorative materials. *Am J Dent* 2009;22(4):219-222.
11. Bhamra GS, Fleming GJ. Effects of halogen light irradiation variables (tip diameter, irradiance, irradiation protocol) on flexural strength properties of resin-based composites. *J Dent* 2008;36(8):643-50.
12. Soto JM. Ingeniería biomédica. Historia en construcción. *Revista Ingeniería Biomédica* 2009;3(5): 28-30.
13. Wagner C, Armenta S, Lendl B. Developing automated analytical methods for scientific environments using LabVIEW. *Talanca* 2010;15;80(3):1081-1087..
14. Gulotta M. Teaching Computer Interfacing with Virtual Instruments in an Object-Oriented Language. *Biophysical Journal* 1995; 69:2168-2173.
15. Braz AK, Aguiar CM, Gomes AS. Evaluation of the integrity of dental sealants by optical coherence tomography. *Dent Mater* 2011;27(4):60-64.
16. Linsuwanont P, Palamara JE, Messer HH. Thermal transfer in extracted
17. Zhang X, Badea C, Jacob M, Johnson GA. Development of a noncontact 3-D fluorescence tomography system for small animal in vivo imaging. *Proc Soc Photo Opt Instrum Eng* 2009; 16; 7191:nihpa106691.
18. Ionita CN, Hoffmann KR, Bednarek DR, Chityala R, Rudin S. Cone-beam micro-CT system based on LabVIEW software. *J Digit Imaging* 2008;21(3):296-305.
19. Fantner GE, Schitter G, Kindt JH, Ivanov T, Ivanova K, Patel R et al. Components for high speed atomic force microscopy. *Ultramicroscopy* 2006; 106(8-9):881-887.
20. Topal T, Polat H, Güler I. Software development for the analysis of heartbeat sounds with LabVIEW in diagnosis of cardiovascular disease. *J Med Syst* 2008;32(5):409-421.
21. Wang Y, Yi H, Ni Z. Experimental Research on Balloon-expandable Endovascular Stent Expansion. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2005;3:2272-2275.

22. Szivek J, Nandakumar V, Geffre C, Townsend C. A handheld computer as part of a portable in vivo knee joint load monitoring system. *J Med Device* 2008; 1; 2(3):350011-350019.
23. Meng H, Li JY, Tang YH. Virtual Instrument for Determining Rate Constant of Second-Order Reaction by pX Based on LabVIEW 8.0. *J Autom Methods Manag Chem* 2009; 849704. Epub 2009 Aug 31.
24. Holschneider DP, Scremin OU, Chialvo DR, Kay BP, Maarek JM. Flattened cortical maps of cerebral function in the rat: a region-of-interest approach to data sampling, analysis and display. *Neurosci Lett* 2008;434(2):179-184.
25. Stewart CM, Newlands SD, Perachio AA. Spike detection, characterization, and discrimination using feature analysis software written in LabVIEW. *Comput Methods Programs Biomed* 2004;76(3):239-251.
26. Webb AR, Macrie BD, Ray AS, Russo JE, Siegel AM, Glucksberg MR et al. In vitro characterization of a compliant biodegradable scaffold with a novel bioreactor system. *Ann Biomed Eng* 2007;35(8):1357-1367.
27. Lee SG, Kim CM, Hwang KS. Development of a software tool for in silico simulation of *Escherichia coli* using a visual programming environment. *J Biotechnol* 2005;119(1):87-92.
28. Argimon Pallán JM; Jiménez Vill J. *Métodos de investigación clínica y epidemiológica*. 2a ed. Madrid: Harcorurt. 2000.
29. Prieto L, Lamarca R, Casado A. La evaluación de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlación intraclase. *Med Clin* 1998; 110(4):142-145.
30. Huerta E, Corona JE, Oliva AI. Universal testing machine for mechanical properties of thin materials. *Revista Mexicana de Física* 2010;56(4):317-322. 2010.