

Proyectos CIO-MABE

Por el Dr. Bernardino Barrientos García y
Dr. David Moreno Hernández

Durante los últimos años, El Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) ha promovido alianzas con el sector empresarial, con el propósito de generar conocimiento que ayude a optimizar tanto el funcionamiento de los diferentes productos industriales como su proceso de fabricación. De esta forma, hemos observado que es posible ayudar a elevar la competitividad de las empresas y de esa forma establecer un mayor acercamiento entre el Centro y la sociedad.

En particular, como parte de dicha alianza, desde el 2006 el Grupo de Velocimetría del CIO ha mantenido una estrecha colaboración con la empresa MABE. Se han llevado a cabo tres proyectos en forma exitosa. Dos de ellos fueron apoyados en partes iguales por CONACyT y dicha empresa. Un tercer proyecto fue cubierto enteramente por MABE. El objetivo de tales proyectos fue el de mejorar el desempeño de tres productos de línea blanca fabricados y comercializados por MABE: un refrigerador, una lavadora y una secadora, de tal forma que esos productos cumplieran con estándares de exportación. Estos proyectos fueron terminados en octubre del 2006, abril del 2007 y enero del 2008, respectivamente, a entera satisfacción de MABE.

Los tres proyectos tuvieron un punto en común: optimizar el uso del fluido de trabajo de cada dispositivo. En el caso de la secadora y el refrigerador el fluido de trabajo correspondió al aire de secado y de refrigeración, respectivamente. Para la lavadora, el fluido de trabajo correspondió al líquido usado en el anillo de balance. El anillo de balance es una pieza fundamental en la estabilización de la lavadora durante el ciclo de secado.

En el análisis de flujo de fluidos generalmente se utilizan dos técnicas ópticas: la velocimetría por imágenes de partículas, PIV (*Particle Image Velocimetry*), y la visualización mediante videos. PIV consiste en la visualización y cuantificación de campos de velocidad bidimensionales en fluidos por medio de la inyección de partículas en el mismo. Como se ve en la Figura 1a, (Nota: Figuras al final del escrito) el flujo de interés

es iluminado mediante una hoja de luz proveniente de un láser Nd:YAG de longitud de onda 532 nm. La luz dispersada por las partículas llega a una cámara CCD, la cual toma imágenes consecutivas del flujo. La Figura 1b incluye una fotografía de uno de los refrigeradores en plena prueba. En dicha fotografía se aprecia el color verde típico de un láser Nd:YAG. Debido a que el láser emite luz en pulsos ultracortos (5 ns), es posible congelar el movimiento del fluido, y por tanto las imágenes de las partículas tienen alto contraste y pueden ser sujetas a análisis. Generalmente, para encontrar el desplazamiento efectuado por las partículas de una imagen respecto a otra, se aplican algoritmos computacionales a dichas imágenes. Debido a que el tiempo entre dos adquisiciones está bajo control del usuario, entonces es posible calcular el campo de velocidad (magnitud y dirección) para cada par de imágenes consecutivas. El ángulo entre la dirección de observación y la dirección de iluminación es de 90°.

Por otra parte, en la técnica de visualización con videos se usa el mismo arreglo de PIV. Sin embargo, en lugar de usar láseres pulsados se usan fuentes de luz que emiten luz continuamente, como es el caso de los láseres de Argón o lámparas de halógeno. Adicionalmente, en esta técnica es necesario el uso de cámaras rápidas, es decir cámaras suficientemente rápidas de tal forma que puedan capturar la dinámica del evento en cuestión. Estas cámaras pueden tener razones de captura hasta de 200000 imágenes por segundo.

En el proyecto relacionado con refrigeradores se utilizaron análisis de aerodinámica para obtener una mejor comprensión del comportamiento espacial y temporal del flujo de aire de refrigeración en las diferentes zonas que comprende un refrigerador, tales como la zona de anaqueles y la zona de parrillas. Similarmente, para el proyecto que incluyó una lavadora, se llevaron a cabo estudios hidrodinámicos del anillo de balance de la unidad, pieza que es fundamental en el control de vibraciones, particularmente aquellas vibraciones que se presentan durante el ciclo de secado. Por su parte, mediante el estudio del flujo de aire en la secadora se tuvo acceso a la dinámica de la pelusa que se genera durante el secado de la ropa.

A continuación describimos las actividades y logros obtenidos en los diferentes proyectos.

Flujo de aire en un refrigerador. El objetivo del proyecto fue el de minimizar la diferencia de temperatura existente entre las zonas superior e inferior de un refrigerador. Un requerimiento adicional fue la obtención de la mayor uniformidad en el flujo de aire dentro de la unidad. Estos objetivos fueron cumplidos mediante resultados tanto cualitativos (con el uso de videos de alta definición y cámara rápida) como cuantitativos (mediante PIV). Para obtener la mejor distribución del aire frío tanto en la zona de parrillas como en la zona de anaqueles, se procedió a encontrar la mejor posición y geometría de las salidas de aire que surten de aire al interior del refrigerador, así como el gasto óptimo de aire. La unidad de refrigeración contó con una unidad de control y monitoreo por software y hardware. Esta nos permitió llevar a cabo análisis con condiciones controladas. Por ejemplo, se pudieron establecer condiciones idénticas a las que se observan cuando un usuario abre la puerta frontal del refrigerador. Los resultados tanto de visualización como de PIV fueron usados para comparación con resultados obtenidos por MABE usando el paquete de modelado CFX de ANSYS.

En la Figura 2 se muestra un ejemplo de dichas comparaciones. Se aprecia una alta correlación entre ambos resultados.

Finalmente, los logros de este proyecto fueron la obtención tanto de un menor gradiente de temperatura como de una mejor distribución del aire de refrigeración en el refrigerador. Esto al final del día significó contar con un refrigerador altamente eficiente en cuanto a consumo de energía el cual tiene un costo de producción relativamente bajo.

Análisis de velocimetría de un anillo de balance. Este proyecto estuvo relacionado con el análisis del desempeño de una lavadora, particularmente el que se observa durante el ciclo de secado. En este caso el objetivo fue reducir el tiempo del ciclo de secado. Mediante el uso de videos fue posible acceder a la dinámica de la lavadora en la etapa de inicio/aceleración del ciclo de secado. Esta etapa es una de las más críticas en el desempeño de la lavadora ya que el grado de inestabilidades debida a vibraciones en este período es máximo. El tiempo de esta etapa fue de alrededor de 1 s. Aquí se utilizó una cámara rápida de 10000 imágenes/s en conjunto con lámparas de halógeno de 2000 W. En esta etapa fue posible evaluar cualitativa y cuantitativamente varios parámetros, tales como el aspecto inercial del fluido, los tiempos de estabilización, las

frecuencias resonantes, el desplazamiento 3D del tambor, etc. Una segunda etapa del proyecto incluyó la medición de campos de velocidad del flujo de fluido existente en el interior del anillo de balance. Los resultados de esta etapa ayudaron a comprender la influencia de la geometría de las diferentes partes del anillo sobre el grado de las inestabilidades. En la Figura 3 se muestra una fotografía del arreglo experimental. Por su parte, en la Figura 4 se muestra un resultado típico de PIV, del anillo de balance, tomado desde la vista de planta. En la parte a) los resultados contienen tanto las componentes de velocidad debidas al fluido como al movimiento de cuerpo rígido RBM debido al giro del anillo. En la parte b) se muestra el mismo resultado pero la componente de RBM ha sido eliminada. Este último tipo de resultado es más útil desde el punto de vista hidrodinámico ya que muestra sólo la influencia del anillo sobre el fluido.

Entre los logros a destacar de este proyecto, podemos mencionar un mejor entendimiento de las diferentes etapas del ciclo de secado de una lavadora con carga vertical.

Visualización de flujo de aire en una secadora eléctrica. Mediante este proyecto se tuvo acceso a la dinámica de la pelusa que se genera durante el secado de la ropa. Para ello fue necesario visualizar el flujo de aire caliente en las diferentes secciones internas de la secadora. En la visualización del aire se utilizó tanto humo como la misma pelusa. El humo nos permitió detectar posibles fugas de aire desde el tambor debido al pequeño tamaño de las partículas de humo, el cual va de 0.1 a 0.6 micras. La pelusa, por su parte, nos permitió tener acceso a la dinámica de la pelusa misma en condiciones muy similares a las de trabajo. La pelusa, por ser de tamaño relativamente mayor que el humo, no sigue fielmente el flujo del aire caliente. Sin embargo, el análisis con la pelusa resultó una parte muy importante del proyecto ya que el objetivo del proyecto consistió en la visualización de posibles fugas de pelusa, ya que estas fugas representan un peligro potencial de incendio cuando la pelusa se fuga del tambor y regresa nuevamente por la sección de las resistencias eléctricas (entrada de aire caliente), esto referido a condiciones extremas, es decir cuando el conducto de salida de aire se tapa debido a la pelusa misma. En la Figura 5 se muestra una fotografía del arreglo utilizado.

Como se observa de las Figuras 1b, 3 y 5, para poder tener acceso a la dinámica de los diferentes dispositivos fue necesario contar con modelos que fueran transparentes a la luz utilizada, pero que a la vez conservaran en su mayor parte la estructura y dinámica de los dispositivos reales. En el caso de los tres proyectos, tales modelos transparentes fueron diseñados y construidos por MABE.

Cabe señalar que personal de MABE siempre estuvo involucrado en los tres proyectos, ya fuera mediante la asistencia a foros de discusión o a cursos especialmente diseñados por el CIO o mediante el uso de los diferentes arreglos experimentales, de tal forma que siempre se dio un proceso de retroalimentación y complementariedad entre personal de MABE y CIO. Esta complementariedad fue un factor clave para que los proyectos fueran concretados exitosamente.

Finalmente, se enlistan los colaboradores de los tres proyectos. **Refrigeradores:** por parte del CIO, Dr. Bernardino Barrientos García, Dr. David Moreno Hernández, Dr. Ascensión Guerrero Viramontes y Dr. Carlos Pérez López; por parte de MABE, M. C. Rosalba Cobos, M. C. César Gutiérrez Pérez, M. C. Israel Sánchez e Ing. Antonio Olvera. **Lavadoras:** por parte del CIO, Dr. Carlos Pérez López, Dr. Bernardino Barrientos García, Dr. David Moreno Hernández y Dr. Manuel de la Torre Ibarra; por parte de MABE, M. C. Leonardo Urbiola, M. C. Alfonso Thompson e Ing. Martín Ortega. **Secadoras:** por parte del CIO, Dr. Bernardino Barrientos García y Dr. David Moreno Hernández; por parte de MABE, Ing. Giancarlo Páez.

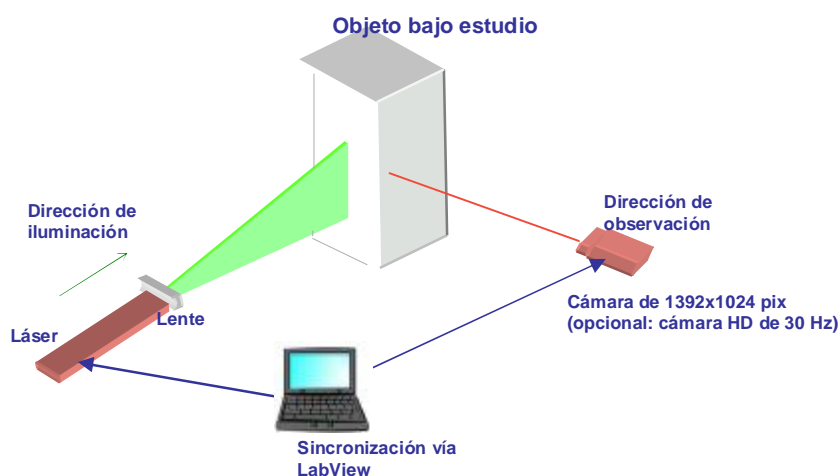


Figura 1a. Arreglo PIV para visualización de flujos de fluidos.



Figura 1b. Uno de los refrigeradores en plena prueba.

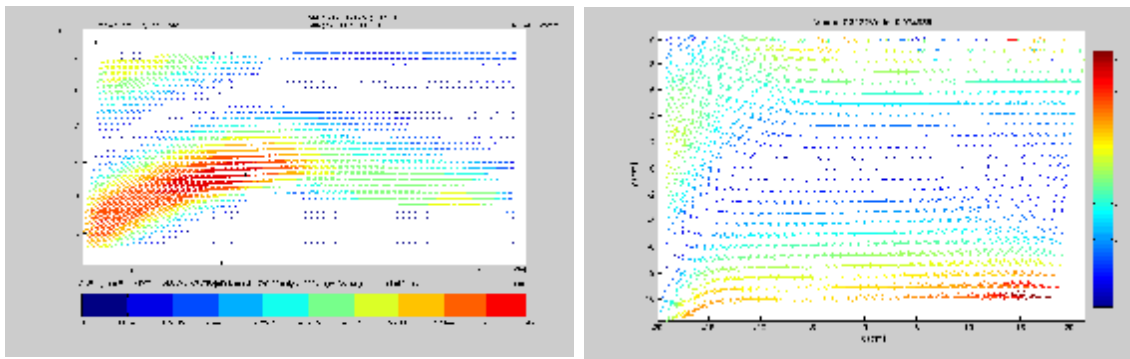


Figura 2. Comparación entre resultados PIV experimentales (izquierda) y CFX (derecha) para el flujo de aire observado en la parrilla inferior. La velocidad está dada en cm/s.

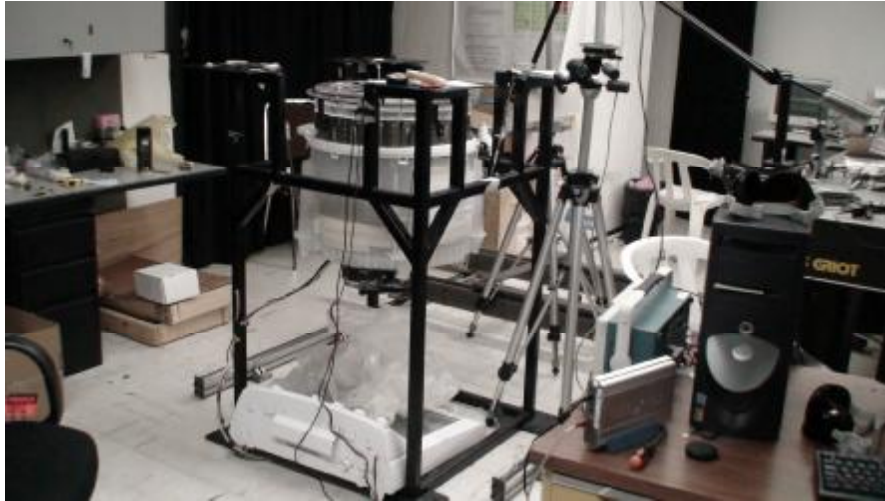
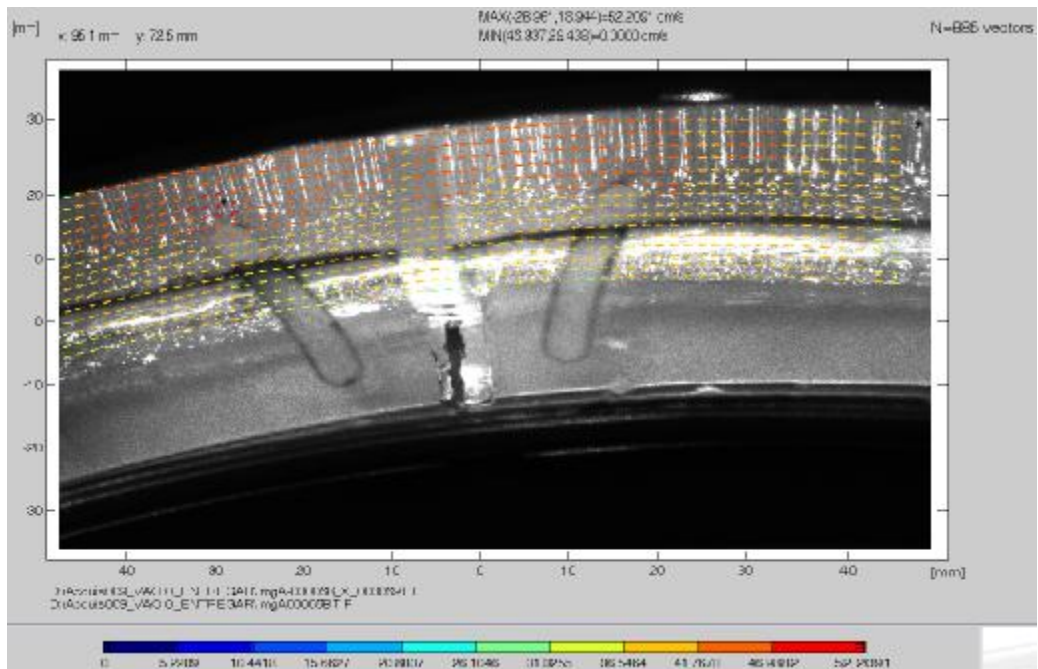
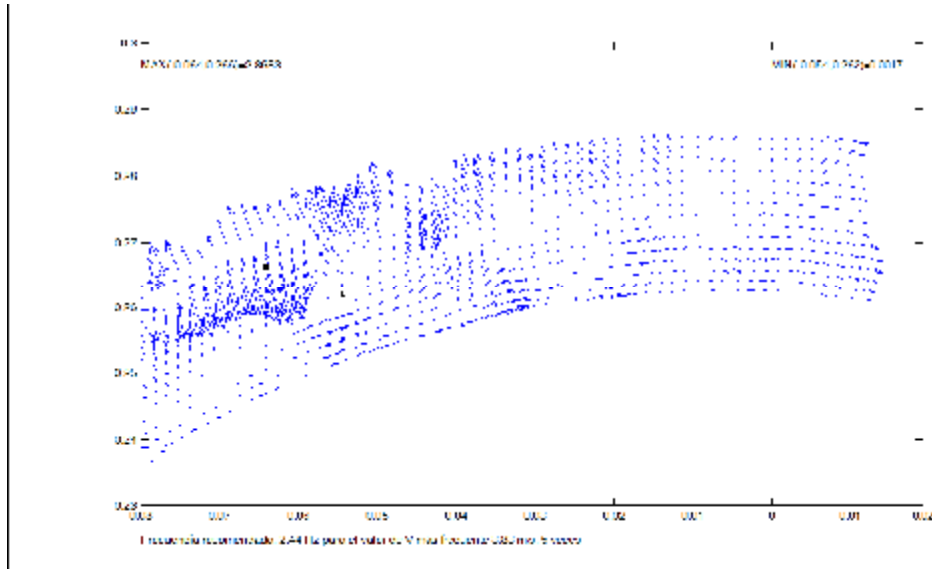


Figura 3. Arreglo para visualización de flujo en una lavadora.



a)



b)

Figura 4a y b. Distribución de velocidades típica en un anillo de balance, a) con RBM. Los vectores de velocidad están sobrepuestos a la imagen de partículas. La velocidad está dada en cm/s y las dimensiones de la región en mm. b) sin RBM. En la parte superior se muestran los valores máximos y mínimos en el mapa de velocidades en m/s. Adicionalmente, entre paréntesis, se muestran las coordenadas de estos puntos. Las escalas horizontal y vertical corresponden a las dimensiones de la región de observación en m.



Figura 5. Se muestran los principales componentes del arreglo. Las flechas verde y roja corresponden a las direcciones de iluminación y de observación, respectivamente.