

Tecnologías en el ICID. 50 años

Fernando Arrojas Cowley

Contenido

Tecnologías en el ICID. 50 años	1
1. Prefacio	2
2. Circuitos impresos, montaje y ensamblaje electrónicos en la CID 201-CID 201A..	3
3. Tecnología Mecánica en la CID 201 y la CID 201A	7
4. Evolución de los circuitos impresos, el montaje y el ensamblaje electrónicos en el ICID hasta antes de la inversión del edificio	8
5. Evolución de la tecnología mecánica en el ICID hasta antes de la inversión del edificio	12
6. Evolución de los circuitos impresos, el montaje y el ensamblaje electrónicos en el ICID en el edificio.....	13
7. Evolución de la tecnología mecánica en el ICID en el edificio	15
8. Sistemas de calidad	17

1. Prefacio

Uno de los méritos evidentes del colectivo fundador del Centro de Investigaciones Digitales, es que a pesar de no disponer casi de experiencia previa tecnológica en el ambiente universitario del que provenía, alcanzó a pocos meses de su creación un alto nivel de autosuficiencia productiva, asimilando en dos casas y una nave todas las tecnologías vinculadas entonces con la producción de un equipo electrónico profesional complejo, integrándolas y produciendo en pequeña escala con alta calidad.

Ello a su vez generó en los trabajadores que fueron integrándose al grupo inicial y así hasta hoy, la cultura de que si se comienza a investigar y a desarrollar algo, se hace desde el inicio pensando cómo se va a terminar con un producto completo y reproducible. ¡Y se llega hasta el final!

Aunque la imbricación de todas las tecnologías se pone de manifiesto continuamente, para facilitar la comprensión, se dividió la explicación en dos grupos; por una parte los circuitos impresos, el montaje y el ensamblaje electrónicos y por otra las tecnologías mecánicas.

También se hizo una división en tres períodos de los 50 años transcurridos, o sea:

- las tecnologías que se usaron en la primera computadora en 1970-1971,
- las que se usaron posteriormente hasta la construcción del Edificio y finalmente
- las que se incorporaron en el edificio a partir de 1994.

Me he esforzado por verificar toda la información aquí contenida, pero cualquier error es de mi responsabilidad enteramente. Agradecería mucho que me dieran a conocer y rectificaría cualquier error que me señalaran los muchos y muy lúcidos compañeros que han trabajado en o con el ICID.

En la elaboración de este trabajo el autor contó con la colaboración inestimable de Ricardo Piñero, Lino Reboredo, Antonio Torres y Ángel Díaz Lezcano, todos ellos con decenas de años de trabajo en el ICID y un gran cariño por esa institución, a la que dedicaron toda o la mayor parte de su vida laboral. Espero que se motiven y elaboren trabajos más detallados relacionados con los temas y áreas que les fueron más cercanos.

2. Circuitos impresos, montaje y ensamblaje electrónicos en la CID 201- CID 201A

En el campo de la electrónica la interconexión de unos componentes a otros se realiza por dos vías fundamentales: por alambrado o mediante un circuito impreso.

La CID 201 la componían fundamentalmente pequeñas tarjetas de circuito impreso de doble cara, de 10 x 10 cm, en las que se montaba un número reducido de componentes. En la Figura 2.1 se muestra un ejemplo, básicamente con 6 circuitos integrados de 14 patas cada uno.

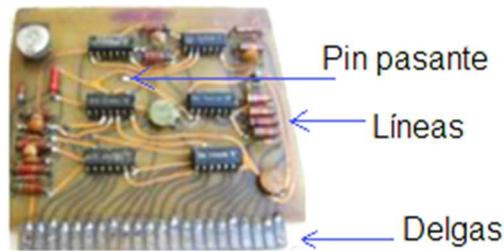


Figura 2.1 Una de las tarjetas de circuito impreso del procesador de la CID 201

La entrada y salida de señales de las tarjetas se efectuaba por delgas en uno de sus bordes. Las delgas de cada tarjeta se insertaban en su conector correspondiente en el rack de conectores. Esto permitía conectar entre si las señales iguales que debían estar presentes en más de una tarjeta. Esta conexión se lograba soldando alambres a los pines posteriores correspondientes a esas señales en cada conector. Para ayudar a distinguir los alambres, se escogían con diferentes colores de forro aislante por lo que al final los racks, observados por su parte inferior como en la Figura 2.2, parecían una pesadilla de espaguetis de múltiples colores.



Figura 2.2 Alambraje de un rack de CID 201B por una estudiante de la Escuela LENIN

Las líneas en las tarjetas de circuitos impresos eran entonces gruesas, de 1,5mm y más. Cada componente electrónico tenía pines de latón sobresalientes, de varios milímetros

de longitud, y el circuito impreso tenía orificios taladrados donde se insertaba cada uno de estos pines. Los pines de los componentes atravesaban los orificios y eran soldados a las arandelas de cobre hechas en el circuito impreso, que se continuaban eléctricamente en las pistas de cobre del circuito impreso. Cuando se requería conectar una cara con la otra en un punto determinado, era necesario colocar un pequeño pin pasante, que se soldaba en la arandela correspondiente en las dos caras.

Para la CID 201 el diseño de un circuito impreso pasaba por varias etapas, una vez que se disponía del diseño electrónico de la tarjeta.

Primero se realizaba manualmente en papel el denominado “rojo y azul”, consistente en un esquema donde los pines de los componentes se representaban a escala y se iban dibujando en rojo los trazos de circuito impreso que quedarían en una de las caras del circuito (cara de montaje de componentes) y en azul los trazos correspondientes a la otra cara (cara de soldadura). Ya en el “rojo y azul” se reflejaban las conexiones que existirían y por donde pasarían, evitando que se pusieran en contacto señales distintas.

Sobre la base del “rojo y azul” terminado y aprobado se realizaban dos máscaras, una por cada cara del circuito. Para ello, comenzando con una placa de acetato transparente virgen, se le iban pegando tiras de cinta negra (“*tape*”), que se correspondían con los trazos en rojo o en azul del “rojo y azul”. También arandelas de *tape* que correspondían con las arandelas para los pines. Se terminaba teniendo un acetato que era transparente, excepto en las áreas donde se deseaba que finalmente quedara cobre en la cara correspondiente del circuito impreso. Estas resultaban opacas debido al *tape* adherido. Ver Figura 2.3.



Figura 2.3. Dibujando una máscara con *tape* sobre acetato. A la izquierda del acetato puede verse el *tape* depositado en líneas paralelas, donde quedarán las delgas de la tarjeta.

Estas máscaras se hacían en escala mayor, típicamente 4:1, respecto a las dimensiones del circuito impreso a obtener y obviamente, las líneas y arandelas de *tape* debían respetar esa misma proporción respecto a las líneas y arandelas finales de cobre del

circuito impreso. Las máscaras se usaban para lograr, mediante una cámara fotográfica industrial una película fotográfica (fotopatrón) similar a la máscara, pero ya reducida a la escala real y además negativa, o sea, con las zonas opaca y transparente invertidas.

En paralelo con la elaboración de las máscaras y los fotopatrones, se recortaba a la dimensión de la tarjeta la lámina de material virgen, compuesta de un sustrato de material aislante de fibra de vidrio y resina epoxi (conocido como textolite) relativamente grueso (1,5 mm) y cubierto en ambas caras por una lámina de cobre fina (0,035 mm). A cada cara de cobre se le adhería resina fotosensible, que se le vertía lentamente a mano, estando fijada en un soporte que giraba. Por efecto centrífugo esta resina se dispersaba con cierta uniformidad sobre la superficie y después se secaba en la misma maquina por calor. Una vez recubiertas ambas caras, estas se exponían a luz ultravioleta en la denominada máquina de luces, usando protección los correspondientes fotopatrones de cada cara descritos en el párrafo anterior.

Así se exponían a la luz ultravioleta aquellas áreas de la placa donde originalmente se había adherido el tape negro, que es donde se quería que permaneciera la lámina fina de cobre. Donde incidía la luz ultravioleta, ésta polimerizaba la resina fotosensible. Entonces se disolvía y removía la resina no polimerizada, quedando protegida por la resina polimerizada la imagen del circuito deseado. La placa se sometía entonces a un proceso de “comido” químico con cloruro férrico (etching) que eliminaba el cobre en las áreas no polimerizadas, dejándolo solo en las áreas deseadas. Después se removía la resina polimerizada.

La placa era entonces barrenada manualmente, agujero a agujero, en los puntos donde se ubicarían las patas de los componentes y los pines pasantes para comunicar una cara con otra. Se barrenaba con un taladro de tan alta velocidad de giro como fuera posible (6000 a 10000 rpm entonces), para reducir la generación de rebaba. Los diámetros de barreno eran en esa época de entre 0,7 mm y 3,2 mm.

Se daba a las delgas un baño galvánico con un material resistente a la fricción como níquel u oro, protegiendo así el contacto eléctrico, para que pudieran enfrentar la erosión derivada de introducirla al conector del rack y extraerla.

Finalmente se limpiaba manualmente toda la superficie, se secaba y se sumergía en un barniz de pez-rubia (colofonia) diluida para preservar la superficie de cobre de la oxidación y promover con la colofonia la capacidad de soldadura de las terminales.

La soldadura de los componentes a las tarjetas, incluyendo los pines pasantes, se hacía manualmente, según su documentación. Este proceso era determinante en la fiabilidad y estabilidad en el trabajo de la computadora, ya que cada una de las miles de soldaduras era potencialmente un punto de fallo.

La organización y disciplina en el área de montaje fue decisiva para que el resultado científico del diseño electrónico de la primera computadora se convirtiera en un equipo electrónico profesional plenamente utilizable.

Entre las tareas más difíciles estaban la definición del alambraje de los racks y su ejecución, que se hacía soldando uno a uno, muy cuidadosamente, los alambres que

interconectaban los pines de unos conectores con los de otros, tal como se pudo ver en la Figura 2.2.

Un montaje singular que requería gran habilidad era el de las memorias de ferritas. Se importaban los planos de memoria de ferritas, cada uno con 4096 ferritas ya ensartadas. En cada plano se memorizaba uno de los 12 bits de las 4096 palabras de un módulo. Con 12 de estos planos se tenía entonces la memoria completa de la CID 201. Los montadores del ICID armaban con 12 planos de ferrita una estructura rígida interconectada eléctricamente, denominada coloquialmente “metrepo” (ver figura 2.4), que incluía parte de la electrónica de selección de palabra, lectura y escritura en la memoria.

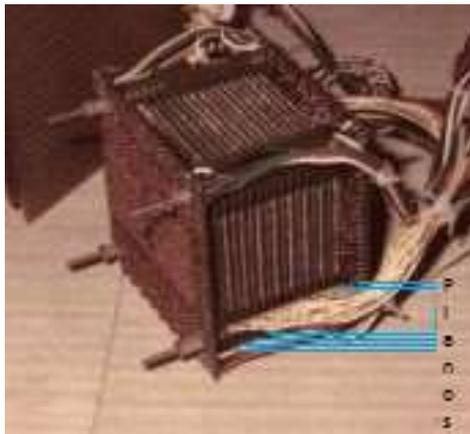


Figura 2.4 Metrepo de memoria a ferritas de 4096 palabras de 12 bits

Todos estos procesos se hacían en las áreas tecnológicas del CID para elaborar las computadoras CID 201A y se siguieron haciendo posteriormente. En la Figura 2.5, se muestra una vista posterior de la CID 201. Pueden verse en el centro y a la derecha las tarjetas (fundamentalmente de lógica) ubicadas en su rack. Al centro del rack derecho se ve el metrepo de memoria. A la izquierda puede verse la fuente de alimentación.



Figura 2.5 Vista posterior de la CID 201

3. Tecnología Mecánica en la CID 201 y la CID 201A

La CID 201 y en general los equipos del CID y el ICID hasta mediados de los años ochenta estaban realizados fundamentalmente sobre la base de láminas metálicas, fundamentalmente de acero. Ello era así tanto para la cubierta externa, como para la estructura interna, como para los soportes donde se fijaban los conectores de las tarjetas de circuitos impresos y de los cables y también los interruptores, los botones y las luminarias ubicadas en el exterior de la cubierta.

Los equipos tecnológicos decisivos eran entonces la cizallas, prensas para el punzonado, plegadora y equipos de soldadura.

Para la producción de un modelo de computadora debían troquelarse en las láminas múltiples agujeros, fijando las láminas con topes colocados manualmente. Se necesitaba elaborar más de una docenas de troqueles para cada tipo de computadora. Estos se hacían con fresadoras, tornos y rectificadora. La alta calificación del personal del taller mecánico y su elevado compromiso con los resultados de su trabajo posibilitó elaborar los troqueles con bajas tolerancias y por ende las piezas con una buena calidad, con la precisión necesaria para el posterior montaje de las tarjetas de componentes y para la calidad estructural y estética de los equipos.

Finalmente se requería de una pequeña línea de galvanía que incluía anodizado para aluminio con diferentes colores y un área de pintura, para la protección de las piezas y para lograr una imagen adecuada del equipo.

Las líneas y equipos tecnológicos mencionados se fueron adquiriendo con el financiamiento que iba estando disponible y se iban montando en la llamada Casa 2 situada en la misma esquina de las calles 146 y 19 y en la nave para mecánica que se construyó en su patio posterior.

La primera computadora, CID 201, tuvo una excelente ejecución mecánica, pero su diseño requirió su elaboración en forma semi-artesanal y se hacía compleja su reproducción industrial. Ello llevó a un rediseño mecánico que generó la versión a usar en todos los ejemplares ulteriores, que pasaron a denominarse CID 201A. En la Figura 3.1 pueden compararse ambos diseños.



Figura 3.1 CID 201 y CID 201A

4. Evolución de los circuitos impresos, el montaje y el ensamblaje electrónicos en el ICID hasta antes de la inversión del edificio

A principios de los años setenta se construyó y comenzó a funcionar la Escuela Vocacional LENIN, insignia de la educación cubana en esos años. Junto a la escuela y en correspondencia con el principio de estudio-trabajo en que se sustentaba, se fueron creando instalaciones industriales donde los alumnos laboraban durante una parte de su tiempo. A iniciativa del Comandante en Jefe Fidel Castro, cuando ya comenzaban a crecer las producciones del ICID se trasladaron para la Escuela LENIN las actividades de montaje y ensamblaje electrónico de las computadoras.

Para ello se habilitaron inicialmente locales internos de la propia escuela, mientras se construían las instalaciones industriales definitivas a pocos cientos de metros, las que posteriormente se habilitaron.

Los ingenieros y técnicos de las áreas correspondientes del ICID pasaron a trabajar allí, donde entrenaron y evaluaron a los alumnos para que desempeñaran, según su habilidad y responsabilidad, las tareas de diferente complejidad asociadas a los referidos procesos. Ver Figura 2.2. También controlaban el trabajo de los estudiantes y enfrentaban las dificultades y problemas que surgían.

En la CID 201B las tarjetas eran rectangulares y sustancialmente mayores que las de la CID 201A y sus líneas eran más finas. Sus circuitos lógicos fueron diseñados dos veces, ya que estando en producción este equipo fue necesario cambiar su base de circuitos integrados, para pasar de los de la tecnología original del tipo diode-transistor logic (DTL), que se venía usando desde la CID 201, a la más moderna transistor-transistor logic (TTL), cuyas superiores características ya sacaban de la disponibilidad en el mercado a la DTL. Este cambio de tecnología en la CID 201B fue sustancial, pues la tecnología DTL permitía hacer un OR lógico sin electrónica, simplemente uniendo dos señales lógicas. Este método se usaba en las computadoras y obligó a rediseñar los circuitos asociados pues la tecnología TTL no permitía el OR lógico.

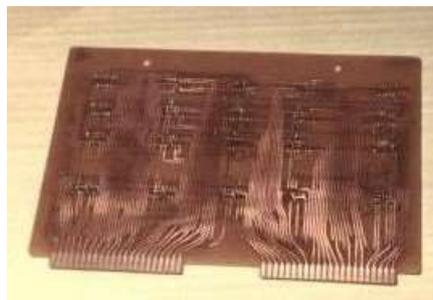


Figura 4.1 Tarjeta CID 300/10.

Se comenzó a aplicar una capa de resina protectora a las áreas de las tarjetas que no necesitaban quedar expuestas, para su mayor protección. Esta protección se daba mediante impresión serigráfica.

En la CID 300/10 las tarjetas siguieron aumentando de tamaño. Ver Figura 4.1. Se usó inicialmente la tecnología de las **barras de Vcc y tierra**. Estas eran unas barras finas de

latón con pines (ver figura 4.2), de largo ligeramente inferior al ancho de las tarjetas. Estas barras, se soldaban perpendiculares respecto al circuito impreso y sus pines se conectaban al mismo, de manera que condujeran en filas alternas por sobre el circuito impreso y los circuitos integrados la señal de alimentación (Vcc) y de tierra necesarias para los circuitos integrados, reduciendo así significativamente las conexiones a hacer en las dos caras del circuito impreso.



Figura 4.2 Vista lateral de una tarjeta con barras de Vcc y tierra

Poco antes de la introducción de la CID 300/10 se introduce la tecnología de **alambre enrollado (wire wrap)** para el interconexión de los conectores en el rack. Ello sustituyó la soldadura a los conectores de las puntas de los cables de interconexión de los racks. En vez de ello, se enrollaban esas puntas al poste del conector, que tenía un perfil cuadrado. Este enrollado se hacía con una pistola específica, que tensaba el cable al enrollarlo en los postes, dándole rigidez a la conexión.

Posteriormente se sustituye esta tecnología por la de **alambrado rígido**, donde los conectores ya no se fijaban mecánicamente a un rack mientras sus postes posteriores se alambraban entre si según el circuito diseñado, sino que los pines posteriores de los conectores se introducían y soldaban a un circuito impreso que incluía todas las conexiones necesarias entre las tarjetas, terminando así con el concepto de rack alambrado. En este panel posterior, en los 1,5 mm del ancho de la placa impresa, debían solucionarse los problemas topológicos de conexión que para el alambrado se resolvían con ilimitados entrecruces de los alambres.

Los procedimientos descritos anteriormente para la fabricación los circuitos impresos de la CID 201 siguieron siendo básicamente los empleados hasta finales de los años setenta, ya que se ejecutaron pocas inversiones que permitieran seguir las tendencias mundiales en estas tecnologías y por el contrario, los equipos tecnológicos se fueron volviendo obsoletos física y moralmente.

En la medida en que evolucionaba la complejidad electrónica de los equipos, más habilidad tenían que emplear los diseñadores y tecnólogos para solucionar las crecientes conexiones requeridas. Se requerían circuitos impresos de **líneas finas**, con **metalizado de agujeros** y además **multicapas**, tecnologías que fueron asimilándose con éxito en el ICID con el esfuerzo y la creatividad de un grupo de jóvenes graduados de Ingeniería, Química y Física, primero en condiciones materiales insuficientes en la segunda sede del ICID y después con condiciones adecuadas en el nuevo edificio.

Estos jóvenes buscaron soluciones en la vinculación del proceso de diseño con el de fabricación, hasta entonces divorciados; en la transferencia de imagen, en el grabado químico y en la interconexión de conductores por medio del metalizado de agujeros. Fueron introduciéndose modificaciones y adecuaciones que llevaron a regulaciones

actualizadas, se sustituyeron las importaciones de reactivos patentes por reactivos genéricos empleados en formulaciones propias y se fabricaron equipos complementarios en el propio taller de mecánica del ICID.

Con la ayuda de los diseñadores electrónicos se adaptó a la máquina de impresión por luz ultravioleta un integrador de energía y se emplearon sensores de temperatura superficial y reguladores de presión.

La participación del taller de mecánica fue esencial en la fabricación de un sistema de coincidencia para el prensado de los circuitos multicapa partiendo de documentación técnica cedida por especialistas búlgaros. En la Figura 4.3 puede verse al colectivo que de químicos, físicos y mecánicos que participó en esta tarea, muchos de los cuales participaron en otras de las mencionadas en este capítulo.

El equipo más significativo adquirido en este período fue el sistema CAD/CAM que se adquirió a principios de los ochenta, que siempre fue conocido en el ICID por el nombre de la firma productora, Quest. Este sistema partía del “rojo y azul” aprobado. La información contenida en éste se introducía al Quest por medio de un digitalizador. La computadora de éste generaba entonces la información de barreno, el esquema de montaje de componentes y los fotopatrones correspondientes a las dos caras. Para ello el sistema contaba con un plotter plano para papel y con un photoplotter. Al no disponerse en aquellos momentos de taladro de mando numérico, la información de barreno impresa servía de referencia al operador manual.

Las **líneas finas** dejan más espacio disponible en el circuito impreso, pero su mayor ventaja es que de ser suficientemente finas, es posible pasar una e incluso más líneas entre dos patas de un circuito integrado, facilitando así la interconexión de los mismos. Una solicitud de fabricación externa al ICID catalizó la introducción de esta nueva posibilidad. Estas eran tarjetas de circuitos impresos para equipos experimentales cubanos a utilizarse en el proyecto cósmico de los países socialistas denominado INTERCOSMOS. La electrónica demandaba líneas de 0,15 mm, agujeros pasantes de 0,3 mm, arandelas de 0,6 mm y separaciones entre conductos y arandelas de 0,080 mm, lo que era un gran reto entonces. La fabricación seriada de los circuitos impresos de la CID 300, mucho menos complejos, se benefició de los resultados aplicados en el proyecto INTERCOSMOS.

El **metalizado de agujeros** hace la misma función que los pines pasantes, interconectar capas de un circuito, pero lo logra recubriendo de cobre por deposición química y electroquímica el material no conductor de los agujeros entre dos capas. Tiene múltiples ventajas sobre los pines pasantes; mayor fiabilidad, menor uso de superficie del circuito impreso y la solución en paralelo de todas las interconexiones al fabricar el circuito impreso. Inicialmente su fabricación en el ICID dependía totalmente de la importación de insumos patentes, lo que implicaba un alto costo. El grupo de químicos del ICID se enfocó en una primera etapa en la sustitución de aquellas soluciones que tenían un tiempo de vida limitado. Tras tres años de investigación se alcanzó la independencia tecnológica en este proceso, creándose una tecnología propia basada en reactivos genéricos, lo que se extendió al resto de los reactivos que lo ameritaban.

En los **circuitos multicapas** se compactan bajo presión y alta temperatura 4 o más capas con circuitos en cobre ya definidos, en ajustada coincidencia entre sí, hasta llegar a un sólido con grosor semejante al estándar de los circuitos de dos capas. En el ICID la cantidad de capas generalmente usadas en estos circuitos era 4, con dos capas externas de señales y dos capas internas, una de Vcc y una de tierra, que se conectan por metalizado de agujero con las capas externas.

Mediante la colaboración internacional con el PNUD se obtuvo una prensa de presión y temperatura controlada indispensable para la solidificación de la placa multicapa. Gracias a intercambios con especialistas búlgaros se entrenó el personal para esta nueva técnica de fabricación y de Bulgaria se recibieron por donación los primeros materiales requeridos para su fabricación.



Figura 4.3 Colectivo que desarrolló la tecnología ICID para circuitos impresos multicapas y en general para la fabricación de circuitos impresos más avanzados y con mayor proporción de materias primas químicas genéricas

A inicios de los años ochenta la conexión de las placas al panel de alambraje rígido pasó a basarse en **conectores indirectos**. Así se denomina a dos conectores que se pueden conectar entre sí, uno macho y otro hembra. El macho se coloca y suelda en el circuito impreso de la tarjeta y entra en el conector hembra, que se fija al alambraje rígido. Este tipo de sujeción incrementa la fiabilidad de las conexiones entre tarjetas.

5. Evolución de la tecnología mecánica en el ICID hasta antes de la inversión del edificio

El equipamiento mecánico disponible en el ICID varió poco en los 22 años siguientes a la construcción de las primeras computadoras. Los nuevos desafíos que la tecnología mecánica debió enfrentar tuvieron que resolverse con inventiva y con la alta calificación y habilidad de los diseñadores para crear soluciones constructivas ejecutables y de los tecnólogos y operarios para obtener las máximas prestaciones del equipamiento disponible. Estos desafíos principales fueron:

Elaboración de **grandes gabinetes** para la CID 201B, la CID 300, el MEDICID 03, la CID 9800 y otros equipos, con tolerancias cada vez menores para ajustarse los tres últimos a los estándares internacionales mecánicos para este tipo de equipos (Módulo 19).

Diseño de **videoterminales** a ser producidas por una fábrica externa (Flores Betancourt, de la empresa EMCO) en escala de miles de unidades, mucho mayor que la de los equipos que se habían producido anteriormente. Todo ello impuso particulares exigencias al diseño y a la documentación a elaborar.

Diseño y fabricación de **estaciones de trabajo asociadas a equipos**, con grandes superficies de trabajo y movilidad, como el MEDICID 04.

Diseño y fabricación de **carros de transportación para equipos médicos**.

Desarrollo de moldes y de la tecnología para ejecutar piezas plásticas utilizando **fibra de vidrio y resina**. Este método, lento y artesanal, permitió mejorar la imagen de las primeras videoterminales que se exportaron (CID 7220) a mediados de los años 80 y transformar positivamente la imagen de los equipos médicos del ICID a fines de los años 80 e inicio de los 90.

Diseño de piezas, para sobre la base de estos diseños contratar **moldes de inyección** de plástico (Sobre la historia del uso del plástico inyectado en el ICID se habla en más detallé en el capítulo 7)

Desarrollo de **moldes fríos** para piezas de goma silicona, y piezas de goma cruda con temperatura, también pequeños moldes para inyección de piezas de plástico.

Fueron fabricados **troqueles progresivos** para piezas estandarizadas, soportes de conectores, guías para tarjetas de circuitos impresos, barras de Vcc y de tierra.

Se diseñó y fabricó una **mesa para posicionar las láminas a troquelar** en las prensas excéntricas.

A finales de los años ochenta prácticamente se generalizó el uso del **diseño mecánico en dos dimensiones asistido por computadora (CAD)**, utilizando fundamentalmente el Sistema AutoCAD, lo que influyó en la documentación que recibía el taller mecánico.

Un desarrollo extraordinario de principios de los años noventa fue el de dos **secuenciadores de proteínas**. Su base mecánica requería de una precisión mayor que la hasta entonces trabajada en el ICID. La ingeniosidad y alta capacidad de los

ingenieros y técnicos permitió realizar en aquellas condiciones estos equipos decisivos para la biotecnología cubana. La secuenciación de las proteínas permite determinar la secuencia de aminoácidos que las componen en forma automatizada. En aquellos tiempos eran prohibitivas las técnicas basadas en espectrometría de masas.

6. Evolución de los circuitos impresos, el montaje y el ensamblaje electrónicos en el ICID en el edificio

La inversión que se llevó a cabo transformó radicalmente las condiciones para la producción de circuitos impresos. Su objetivo principal fue ampliar las muy limitadas capacidades existentes, pero sobre todo permitir que los procesos que venían haciéndose sin las condiciones adecuadas de infraestructura ni de equipamiento, sobre la base de una gran habilidad artesanal de los operarios, pasaran a realizarse en las condiciones adecuadas y con equipamiento moderno y de la calidad necesaria. Los procesos se volvieron repetibles y la calidad dependió en adelante de las definiciones tecnológicas y la disciplina de los operarios. Las transformaciones principales fueron:

- Los especialistas que revisaban los diseños recibidos para analizar su compatibilidad con la tecnología disponible recibieron computadoras con la potencia y capacidad de representación gráfica adecuadas y programas de automatización del diseño. El nuevo *photoplotter* de tipo “random” adquirido permitió la obtención de fotopatrones de alta calidad, contraste y precisión. El área de revelado se construyó con todos los requisitos y se automatizó la parte decisiva de este proceso.
- Se adquirió un taladro de 110 mil revoluciones por minuto, de mando numérico, cuya información de entrada se obtenía directamente del programa CAD-CAM utilizado.
- Se montaron líneas de metalizado para depositar cobre *electroless*, cobre electrolítico, estaño-plomo y oro, con suficiente capacidad y excelentes condiciones.
- Se dotó al área de transferencia de imágenes de un local adecuado, con aire limpio. Se adquirieron una máquina serigráfica mayor y más precisa, un sistema de estiramiento e impresión de los marcos para esta tecnología y una laminadora, que permitió utilizar película fotosensible en vez de líquido fotosensible para recubrir los circuitos antes de exponerlos a la luz ultravioleta. El mejoramiento de la tecnología de serigrafía permitió hacer la transferencia de imágenes por esta vía para tarjetas de bajos y medios requerimientos, con un menor costo.
- Se adquirió una productiva máquina automatizada para el comido químico amoniacal

En años posteriores se actualizó por etapas la tecnología disponible. Se adquirió un nuevo taladro, más rápido y preciso. También una nueva prensa para la fabricación de circuitos multicapas y un *photoplotter raster*, de excelente resolución y mucha mayor productividad.

En la segunda mitad de la década del 2000, ante los volúmenes sustanciales de producción de equipos médicos que el ICID iba alcanzando, se exploró la variante de

subcontratar, fundamentalmente en China, la producción de placas de circuitos impresos ya montadas. Los precios resultaron significativamente inferiores a los que el ICID lograba para el conjunto de los componentes y materiales que debía adquirir para su producción en sus instalaciones y se comenzó a explotar esta vía. Ello llevó a la disminución de la demanda interna de circuitos impresos, lo que unido a que la demanda de otras entidades nacionales era también pequeña elevó la irrentabilidad de la planta de circuitos impresos del ICID, sin que existieran proyecciones concretas de que la demanda aumentara. Por otra parte los circuitos impresos pueden contratarse de muchos suministradores de múltiples países, de hecho muchos más que aquellos de los que se pueden adquirir sus insumos y equipos tecnológicos especializados para producirlos. Por todo ello se tomó la decisión de paralizar y preservar la planta y poner sus equipos a la disposición de cualquier entidad nacional que los requiriese. Esta fue una decisión discutida, con la cual no existió total consenso.

Respecto al montaje electrónico y al ensamblaje, la inversión asociada al edificio representó un desarrollo considerable, ya que:

- Se actualizó el equipamiento electrónico de medición y comprobación en todas las áreas, adquiriendo para ello el equipamiento necesario.
- Se adquirieron equipos de soldadura manual con la calidad necesaria.
- Se adquirió el equipamiento para la soldadura de tarjetas con componentes pasantes por medio de una doble ola de estaño fundido.
- Se adquirió un colocador de componentes de montaje superficial (*pick and place*) para el montaje de prototipos y un equipo de soldadura de calentamiento por convección para montaje superficial.
- Se construyeron dos cuartos para pruebas de calentamiento prolongado que permitían tener en calentamiento - por ejemplo - hasta 80 monitores de paciente simultáneamente.
- Se adquirió un equipo de envase protegido usando poliuretano expandido. Pronto se desechó por motivos de higiene del trabajo y se pasó definitivamente al envase de caja de cartón con elementos internos de ese mismo material.

En años posteriores se actualizó por etapas la tecnología disponible, especialmente la relacionada con el montaje de los componentes de montaje superficial, que a partir del nuevo siglo fueron la base de la casi totalidad de los equipos médicos del ICID.

Se adquirió un nuevo colocador de componentes de montaje superficial (*pick and place*) ya de mayor productividad y después un segundo semejante. Se adquirió también un dispensador de pasta de soldar para esta soldadura y armarios de baja humedad para la conservación de este tipo de componentes. Los estenciles específicos para el dispensado de la pasta a cada tarjeta se elaboraban por el área de circuitos impresos.

También se adquirió un equipo para facilitar el envase de los productos.

7. Evolución de la tecnología mecánica en el ICID en el edificio

En la inversión realizada se destinó el monto mayor al equipamiento del taller mecánico. Las tecnologías que se introdujeron representaban, por una parte, la ejecución por mando numérico de procesos que hasta entonces se realizaban bajo el mando de un operario, como el punzonado y el plegado de láminas metálicas y también el fresado y torneado de piezas y por otra parte la introducción de nuevos procesos que ampliaban las posibilidades al diseñar los equipos, como el conformado de tubos, las elaboraciones de piezas plásticas por termoconformado, la pintura electrostática y el cadmiado y cromado de piezas.

Se mejoraron sustancialmente las características de los equipos empleados en otros procesos, como el cizallado, el rectificado, el torneado, la pintura, los cubrimientos y la soldadura. También se adquirieron computadoras más potentes para el diseño de piezas en 3D con versiones actualizadas de AUTOCAD y para la fabricación asistida por computadoras (CAM).

Todo ello dio lugar a un gran salto en la velocidad de respuesta, la repetitividad y en general la calidad de los diseños y producciones.

Se produjo en los últimos años del siglo XX y los iniciales del XXI un crecimiento de las demandas de los equipos médicos del ICID, cuyos pedidos nacionales y extranjeros llegaron a miles de unidades anuales. De algunos tipos de equipos (electrocardiógrafos, oxímetros, monitores de pacientes, holters, monitores ambulatorios de presión arterial) se demandaban varios cientos de unidades anuales.

En ese mismo período en que las escalas de producción aumentaron surgió la exigencia de mercado de que las partes externas de los equipos médicos pequeños y medianos pasaran a tener la calidad que brinda el plástico inyectado y el ICID se dispuso para ello. Había ya algunos antecedentes.

A mediados de los años ochenta se habían diseñado el medidor electrónico LOGICID y la Videoterminal CID 7205. Sus moldes se habían contratado en Japón. Ver Figura 7.1.



Figura 7.1 Medidor LOGICID (Izq.) y CID 7205

Desde mediados de los años noventa se empleaba en el oxímetro de pulso Oxy 9800 una caja plástica inyectada, adquirida de un fabricante de cajas, a cuya forma se adaptó el oxímetro. Este tipo de solución tenía la desventaja de que se adquiría a un precio alto y limitaba la originalidad y adaptación a la función del diseño mecánico.

Más adelante se encargaron a la empresa INPUD de Santa Clara los moldes que se utilizaron a partir de entonces para el oxímetro.

Posteriormente se diseñó el autómata NOVA, cuyos moldes se diseñaron y construyeron por el ICID. Los juegos de piezas fueron producidas con máquinas de la Empresa Industria Electrónica, con la presencia de personal del ICID.

También se diseñó en el ICID el monitor de pacientes DOCTUS VI, cuyos moldes se construyeron en China, donde se adquirieron también 1000 juegos de piezas inyectadas. Ver Figura 7.2.

Estos moldes fueron traídos a Cuba para fabricar más piezas, pero se presentaron problemas tecnológicos de fabricación no observados en los lotes producidos en China. La experiencia conllevó a que en adelante, para todos los moldes contratados, las piezas se adquirirían anualmente del mismo fabricante inicial, que quedaba como depositario de los moldes. Esto tenía sentido pues por la dimensión del mercado de equipos médicos del ICID sólo se requería de piezas de cada tipo de equipos para menos de tres mil unidades anuales y además el precio de las piezas plásticas era una fracción muy pequeña del costo del equipo.



Figura 7.2 Autómata NOVA y Monitor de Pacientes Doctus VI

Otro hito de la tecnología mecánica del ICID en la primera década del siglo XXI fue la construcción de un equipo para la calibración de los sensores de CO₂ espirado. Este equipo maneja las válvulas de una docena de balones, la composición de cuyos gases viene certificada. Hace pasar sucesivamente los diferentes gases por el sensor a calibrar, mientras se almacenan sus mediciones ante cada gas. Los sensores se mantienen a temperatura controlada.

Alrededor del año 2004 se instaló en el taller mecánico del ICID una pequeña prensa de inyección de plástico, recuperada por un grupo de valiosos técnicos mecánicos. Para esta prensa fueron haciéndose en el taller sucesivamente pequeños moldes que

apoyaban la producción y evitaban se tuviese que fresar en plástico cada pieza, para producir pequeñas tapas, marcos y otros elementos.

El ICID alcanzó un alto nivel de calidad de las producciones mecánicas, basadas en las tecnologías descritas, en un sistema de calidad certificado y sobre todo en personal calificado y con sentido de pertenencia.

8. Sistemas de calidad

Las áreas tecnológicas del ICID fueron pioneras en la implantación de los sistemas de gestión de calidad basados en normas internacionales. Los sistemas fueron certificados tanto por la Oficina Nacional de Normalización como por agencias extranjeras acreditadas internacionalmente. En el año 2000 se certificó el Sistema de Calidad del ICID según la norma ISO 9002. Posteriormente se incorporó la actividad de diseño al sistema y se certificó según la norma ISO 9001. Más recientemente se certificó el sistema según la norma ISO 13485, que es la norma referida al sistema de gestión de la calidad aplicable para dispositivos médicos.

La aplicación de los sistemas de gestión de calidad tuvo un impacto muy positivo sobre la estabilidad de la calidad de los productos del ICID.

Una anécdota para terminar. En el año 2009, ante pedidos relativamente grandes de equipos médicos del ICID, que incluían cientos de carros de transportación, se trató de subcontratar la pintura de las piezas de los carros a otra institución que se conocía había adquirido recientemente una nueva línea de pintura. En visita al ICID de su director y especialistas se le mostraron, como forma de describir gráficamente los requerimientos, una serie de piezas pintadas en el taller mecánico del ICID pero rechazadas por el de ensamblaje, explicándoles en cada caso el motivo de rechazo. Antes de terminar las explicaciones el director visitante planteó con franqueza que no era posible la cooperación productiva, ya que ellos estaban aún trabajando para tratar de alcanzar el nivel de calidad de pintura de las piezas que el ICID rechazaba. Finalmente se estableció una cooperación para la pintura de las piezas interiores de los equipos, en las que la pintura tenía menores requerimientos.

- O -