

El primer computador universitario en Chile

“El hogar desde donde salió y se repartió la luz”

Juan Álvarez

Departamento de Ciencias de la Computación
Universidad de Chile
Santiago, Chile
jalvarez@dcc.uchile.cl

Claudio Gutierrez

Departamento de Ciencias de la Computación
Universidad de Chile
Santiago, Chile
cgutierr@dcc.uchile.cl

Abstract—The first digital computer for scientific and engineering applications was installed in Chile in 1962. It was an ER-56 Standard Elektrik Lorenz (“Lorenzo” by its Spanish nickname) made in Germany. It was acquired the Faculty of Physical and Mathematical Sciences of University of Chile. It was used in teaching, scientific and technological research, and in engineering projects of State and private enterprises. Its arrival installed automation and computers in the imaginary of Chilean society. Five years of intense use laid the foundation for the future development of the computing discipline in the country.

Resumen—El primer computador digital para aplicaciones científicas y de ingeniería se instaló en Chile en 1962: un ER-56 Standard Elektrik Lorenz (“Lorenzo”) de fabricación alemana, adquirido por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Fue utilizado en docencia, investigación científica y tecnológica, y en proyectos de ingeniería de instituciones estatales y empresas privadas. Este hecho instaló en el imaginario de la sociedad chilena la automatización y los computadores. Un lustro de intensa utilización de él sentó las bases del futuro desarrollo de la disciplina de la computación en el país.

Keywords: Chile, Computing History, ER-56, Universidad de Chile.

“La difusión de los conocimientos supone uno o más hogares, de donde salga y se reparta la luz, que, extendiéndose progresivamente sobre los espacios intermedios, penetre al fin las capas extremas.” (Andrés Bello, Inauguración de la Universidad de Chile, 1843.)

I. INTRODUCCIÓN

¿Cómo se produce el encuentro entre los computadores digitales —el fundamento tecnológico de una nueva era— y la población chilena? Hasta antes del año 1960, el tema de los computadores había estado recluso a estrechos círculos. Por una parte, académicos, principalmente de ingeniería eléctrica, que ya experimentaban con computadores analógicos. Por otra parte, ingenieros que necesitaban simulación y cálculo intensivo (numérico, de estructuras, de redes). Todos ellos se habían acercado al tema por medio de revistas, contactos y visitas a laboratorios internacionales. Adicionalmente, algunos científicos teóricos en las áreas de matemáticas y física,

interesados en los fundamentos de la ciencia, comenzaban a explorar las bases teóricas del nuevo objeto tecnológico

Los años 1961 y 1962 marcaron el inicio material de la computación en Chile con la llegada de sendos computadores digitales al país [1]. En diciembre de 1961 se instaló en la Aduana en Valparaíso el primer computador digital en Chile, un IBM 1401, destinado al procesamiento administrativo. El año 1962 llegó el primer computador de orientación científica, un Standard Elektrik Lorenz ER-56, de fabricación alemana, a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (“Escuela de Ingeniería”) de la Universidad de Chile.

El impacto cultural y mediático que produjeron estos dos primeros computadores fue disímil. El IBM 1401 de la Aduana fue incorporado como una versión mejorada del procesamiento tradicional con máquinas Hollerith, y por ello su llegada pasó casi inadvertida para la población y la prensa [2]. No ocurrió lo mismo con el computador universitario. La puesta en funcionamiento del ER-56 puso en el imaginario ilustrado la percepción de que se estaba cruzando un umbral hacia una revolución en los procesos industriales. La prensa dedicó sus mejores páginas a exaltar el “nuevo cerebro electrónico”, y su puesta en funcionamiento gatilló en el mundo académico una febril actividad docente y de difusión en torno a él.

¿Por qué esta diferencia de apreciación entre el IBM 1401 de la Aduana y el ER 56 de la Universidad? En este artículo mostramos que la adquisición del ER-56 fue parte de un proceso de incorporación de nuevas ideas y tecnologías a la sociedad chilena. Su arribo fue precedido de una reflexión académica sobre los usos de la computación en la ciencia y la ingeniería. En el Consejo de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas hubo conciencia que se estaba ante una tecnología que iba a cambiar el mundo. La sesión del Consejo de 1959, que reproduce con más fidelidad esa discusión, refleja las preocupaciones sobre las necesidades que podría cubrir y los alcances de esta nueva tecnología.

La actividad posterior en torno al ER-56 confirmó esta apreciación. El computador ER-56 no se utilizó en procesos administrativos, como el IBM 1401 de la Aduana, sino que se convirtió en un centro desde donde se irradió esta nueva “luz” a otras disciplinas y organizaciones.

Junto con el ER-56 se desarrolló un Centro de Computación y un conjunto de programas, cursos y seminarios

para formación sistemática de personal. Comenzaron también las primeras “investigaciones” gatilladas por la necesidad de desarrollar compiladores para lenguajes particulares. Estos antecedentes permiten considerar que el ER-56 fue el “hogar de donde se irradió la luz” de la computación digital a otros sectores de la sociedad. No es casualidad que se igualara la importancia de esta actividad con el impacto que había producido la energía nuclear y se hablara de una “segunda revolución industrial”.

Este artículo presenta la etapa previa, el arribo, la instalación, y las actividades generadas en torno al computador ER-56. La investigación se basa en diferentes fuentes: entrevistas orales individuales y grupales; actas de sesiones de Consejo; memorias de título; prensa escrita; revistas científicas y profesionales; apuntes, manuales y textos contemporáneos.

II. EL AMBIENTE PREVIO: LA COMPUTACIÓN ANALÓGICA

La computación en la Universidad de Chile comenzó en 1958 en la sección de Computadores y Servomecanismos del Instituto de Investigaciones y Ensayes Eléctricos (IIEE), predecesor del Departamento de Electricidad. La sección fue creada por el profesor Guillermo González y posteriormente se transformó en el Laboratorio de Computadores y Control Automático.

Inicialmente se trabajó e investigó en computación analógica para apoyar la solución de problemas de ingeniería. De hecho, en 1958 se armó el computador analógico Heathkit. Posteriormente, se dispuso del computador analógico Applied Dynamics AD 2-64PB con tableros para realizar y mantener los programas. Adicionalmente, se contó con el computador analógico EAI modelo TR-20 [3]. Un buen resumen del estado del arte en esta área se encuentra en la memoria de título de Walter Brokering y Herbert Ohnrad: “El computador análogo electrónico y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería” [4].

Anticipándose al advenimiento de la computación digital, a comienzos de los sesenta, el grupo de investigación diseñó un primer computador digital experimental (COMEX) y construyó una memoria de núcleos magnéticos [3].

En este marco de experiencias se decidió la adquisición del primer computador digital para aplicaciones científicas y académicas.

III. DECISIÓN Y PREPARACIÓN PREVIA (1959-1962)

En la sesión del Consejo de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile del 2 de julio de 1959 el Decano Carlos Mori dio cuenta “*de la idea que existe en la Universidad de traer un equipo computador que podría ser usado tanto para la casa Central y para las Facultades, como para las Instituciones Estatales y Particulares*” [5]. En la tabla de la sesión, el físico Carlos Martinoya señaló:

“La necesidad creciente de entregar a los profesionales que forma en las escuelas de su dependencia métodos eficaces de cálculo que puedan ayudarles en la aplicación de sus conocimientos a problemas prácticos.

No obstante queda por realizar una labor importante: ella se relaciona primero con las necesidades de computación en los trabajos de los institutos tecnológicos y de investigación, dependientes de la Facultad y, segundo con las necesidades de computación y procesamiento de información en entidades técnicas y administrativas nacionales.”

Concluyó proponiendo el siguiente proyecto de acuerdo que se aprobó por unanimidad:

“Acordar la creación en la Facultad, mediante la cooperación de los Institutos de Física y Matemáticas, de Investigación y Ensayes Eléctricos y Ensayes de Materiales de un Centro de Computación que atenderá las necesidades científicas y tecnológicas de la Universidad en estas materias.”

La creación del Centro de Computación se concretó en agosto de 1961. El Decano Carlos Mori señaló que “*la creación de este Centro por la Universidad responde a la necesidad de introducir en el país una herramienta que ha revolucionado los conceptos vigentes en relación con la amplitud y alcance de las investigaciones y estudios de índole industrial, económico, administrativo, científico, etc.*” Después de un amplio debate en el Consejo de Facultad, se aprobó la creación del Centro por 25 votos contra 6 y 3 abstenciones [6]. Cabe señalar que dos años antes el gerente general de Endesa, el ingeniero Raúl Sáez, propuso la creación de un “Centro Nacional de Cálculo” patrocinado por una universidad [7].

El Centro de Computación (CEC) se creó como una unidad independiente, bajo la dirección del ingeniero Santiago Friedmann, con los siguientes objetivos iniciales:

- Prestar servicio de procesamiento de datos a los Centros e Institutos de la Universidad de Chile, a las otras Universidades y a las demás instituciones que lo soliciten
- Difundir el conocimiento de las técnicas derivadas de la operación de computadores digitales y formar el personal necesario, tanto para el Centro como para las instituciones similares del país.

La selección y gestión de la compra de un computador digital fue encabezada por los académicos Joaquín Cordua, director del IIEE, y Gastón Pesse, encargado de la Sección de Electrotecnia y Alta Tensión. La idea original fue comprar un computador IBM, pero la empresa sugirió esperar un nuevo modelo. Se decidió entonces adquirir el computador alemán ER-56 fabricado por Standard Elektrik Lorenz (SEL) [8].

Una vez decidida la compra, comenzó una intensa preparación y capacitación. El profesor de ingeniería eléctrica Guillermo González impartió cursos de capacitación y preparó los primeros apuntes [9]. A modo de ejemplo, la página 22 de los apuntes contiene el siguiente programa que calcula una sumatoria matemática:

Programa para encontrar $S = \sum_{i=1}^{20} a_i$

Estamos ahora en condiciones de hacer el programa.

Celda de instrucción		Explicación
507	7200 0 00	Coma flotante
508	0140 0 31	$0 \rightarrow A$
509	0000 1 91	$0 \rightarrow J1$
510	0100 1 35	$(A) + (0100 + (J1)) \rightarrow A$
511	0002 1 93	$(J1) + 2 \rightarrow J1$
512	0040 1 98	$(J1) \text{ comp. } 40$
513	0510 0 16	Salto si <
514	0142 0 32	$(A) \rightarrow S$
....	Alto o enlace con resto del programa

Figura 1. Un programa del computador ER-56.

Por otra parte, en el mes de diciembre de 1961, se realizó por primera vez un seminario de 12 sesiones dirigido a las empresas con el siguiente temario:

- El Computador Electrónico dentro de la familia de las calculadoras
- Los componentes básicos de un computador
- Diagrama de bloque del computador
- Cómo se formula un problema para el computador, y la entrega de datos
- Aplicaciones sobre problemas y ejecución de sus diagramas de flujo
- Programación para el computador electrónico

Asistieron representantes de Ferrocarriles del Estado, Banco Crédito e Inversiones, IBM, Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones, Molinos y Fideos Luchetti S.A., S. A. Yarur, Compañía Chilena de Electricidad, Endesa, Editora Zig-Zag, Chiprodal y Compañía de Cervecerías Unidas [10].

Para recibir la capacitación final del fabricante y preparar la llegada del ER-56 a Chile, en marzo de 1962 viajaron a Alemania Guillermo González y Jean Marie de Saint Pierre del IIEE y José Dekovic del Centro de Computación. [11].

IV. INSTALACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL ER-56 (1962-63)

El ER-56, que se instaló entre los meses de junio y agosto de 1962 en el subterráneo del edificio de Química, fue administrado por el Centro de Computación y su mantención técnica fue encargada al IIEE. Prontamente fue coloquialmente apodado "Lorenzo", en alusión a su fabricante Standard Elektrik Lorenz, y al género masculino que se atribuye a los computadores en Chile.

El "Lorenzo", fabricado con tecnología de transistores discretos, se adquirió con una memoria de 3000 palabras de 7

dígitos decimales, un tambor magnético de 12000 palabras, y una lectora de cinta de papel perforado. Los resultados se imprimían con un teletiposcriptor.



Figura 2. El computador Standard Elektrik Lorenz ER-56 (Foto gentileza de W. Riesenköning).

Desde el punto de vista del software, el ER-56 funcionaba sin sistema operativo a través de programas escritos en los lenguajes de máquina y Alcor (un subconjunto de Algol para el ER-46). Toda la operación se realizaba a través del panel ("pupitre") de control (ver esquema en el Anexo 2).

Para apoyar la instalación y la operación inicial, la SEL envió al ingeniero alemán Wolfgang Riesenköning, quien capacitó a los chilenos en Alemania y puso en funcionamiento el Centro de Computación de la Universidad de Bonn. Riesenköning llegó el 1° de septiembre de 1962, permaneció varios meses en Chile, dictó diversas charlas y cursos en la Facultad y en otras universidades del país y publicó un apunte de programación en Algol [12].

Una vez instalado el computador, se realizaron diversas actividades de difusión con el propósito de fomentar su uso. El 27 de agosto de 1962, Santiago Friedmann, director del CEC, ofreció la conferencia "La era del computador se inicia en Chile – consideraciones sobre sus efectos en el ejercicio de la ingeniería" en el Instituto de Ingenieros [13]. Su exposición abordó los siguientes temas:

- ¿Por qué fue necesario crear el computador?
- La mecanización de la inteligencia
- Enseñando a leer y escribir (las máquinas Hollerith)
- El computador digital
- El Centro de Computación de la Universidad de Chile

Su charla finalizó señalando que "el Centro de Computación está abierto al uso de sus facilidades por el público: otras universidades, empresas públicas y privadas, profesionales, etc" en tres niveles específicos: entrenamiento, asesoría y procesamiento.

Por otra parte, el CEC organizó un seminario sobre computadores especialmente orientado hacia los profesores e

investigadores de todas las universidades del país. Los participantes quedaron capacitados para formular sus problemas a un computador digital electrónico. El seminario se realizó entre el 27 de agosto y el 14 de septiembre de 1962 y fue dictado por el ingeniero Jean Marie de Saint-Pierre. Posteriormente, entre el 24 de septiembre y mediados de octubre, se realizó la segunda parte a cargo del ingeniero Manuel Quinteros donde se resolvieron y programaron problemas específicos [14].

En febrero de 1963, en la sede del Club de la Unión, el ingeniero del CEC José Dekovic ofreció una charla para el Rotary Club que el diario La Nación tituló “Computadores electrónicos dan lugar a la segunda revolución industrial” [15]. La crónica informó que:

Caracterizando los últimos 25 años en el aspecto tecnológico, el conferenciante señaló dos hechos fundamentales: 1.- el dominio y la utilización de la energía atómica, y, 2.- el gran desarrollo de la automatización, posibilitada por los computadores. El segundo de estos hechos ha dado lugar a lo que algunos llaman la Segunda Revolución Industrial.

La presentación a la opinión pública se realizó en una masiva conferencia de prensa el 11 de enero de 1963. El diario La Nación tituló la noticia “Cerebro electrónico reemplazará al hombre en tareas improductivas” [16] e informó que:

La gigantesca máquina, que ocupa un gabinete de 12 por 2.30 metros y pesa 8.950 kilos, informó a los reporteros en un segundo y medio cuánto habían vendido 30 empleados de una casa comercial y cuál había sido su comisión. Santiago Friedmann, Director del Centro, dio a conocer la complicada maquinaria y señaló sus múltiples ventajas – con un funcionamiento de 7 a 8 horas diarias –explicó– su mayor ventaja es su monstruosa rapidez, puede hacer una cantidad ilimitada de operaciones y rinde 300 escudos por hora de trabajo, con lo cual amortizará en 7 años su costo que es de 400.000 dólares.



Figura 3. Foto del ER-56 en diario La Nación, enero 1963.

El texto de la foto (ver Fig. 3) titulada “Un cerebro de 8950 kilos” señalaba que:

El computador electrónico que ocupa la Universidad de Chile en sus investigaciones científicas, hizo demostraciones ayer sobre los diferentes cálculos que puede hacer en tiempo record para aliviar al hombre de tareas inútiles e improductivas. En el grabado, los periodistas observan mientras la máquina responde una de las preguntas que habría requerido horas de trabajo a una persona.

Por su parte, la portada del diario El Mercurio informó con el título “Cerebro electrónico adquirido por la Universidad piensa y memoriza” y el siguiente resumen [17]:

El computador digital es capaz de jugar ajedrez; resuelve en apenas un segundo más de mil quinientas multiplicaciones. “Piensa” mediante fórmulas lógico-matemáticas que le son proporcionadas junto a los datos que procesará. “Recuerda” gracias a un archivo maestro que, para ulteriores operaciones, sólo requiere de datos complementarios y variables. Funciona a temperatura moderada, pues “se le calienta la cabeza”, e indica su dolencia.



Figura 4. Foto del ER-56 en diario El Mercurio, enero 1963.

El texto de la foto (ver Fig. 4) de la primera página del diario indicaba que:

El 18 de septiembre de 1810 fue un día martes, según la contestación que en fracciones de segundo dio el reluciente aparato que se observa en la fotografía. Esta es una máquina electrónica capaz de jugar ajedrez, formular diagnósticos médicos y resolver todo problema susceptible de ser planteado en términos matemáticos. Fue adquirido por el Centro de Computación de la Universidad de Chile.

V. UTILIZACIÓN DEL LORENZO (1962-1966)

Inicialmente el ER-56 fue utilizado por Endesa (procesamiento de información hidrológica y estudios de energía), la Dirección de Riego (análisis de los recursos de agua), la Dirección de Vialidad (cálculo de de cubicaciones de los movimientos de tierra), y Enap (interpretación de mediciones de terreno para determinar yacimientos) [13].

En la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas el computador fue utilizado en proyectos de investigación de

centros e institutos, en algunos casos en colaboración con empresas públicas o privadas. Sus resultados se reflejaron en las memorias de titulación de al menos 4 ingenieros eléctricos, 7 industriales y 11 civiles según se observa en Anexo 1.

El Centro de Computación prestó servicios a centros, laboratorios e institutos: Laboratorio de Estructuras, Departamento de Exploraciones de Geofísica, IDIEM, Instituto de Física y Matemáticas (departamentos de Biofísica y Cristalografía), IIEE, Centro de Radiación Cósmica, Centro de Geodesia y Cátedra de Química Teórica. Por otra parte, se prestó servicios a reparticiones externas: Instituto Forestal (FAO), CORFO, UTFSM, SONAP, ENDESA, Ministerio de Obras Públicas (Direcciones de Riego y Vialidad) y Municipalidad de Santiago (Intendencia) [14].

La labor docente relacionada con el computador consistió en seminarios de divulgación técnica generales y para empresas específicas, capacitación para investigadores, y cursos de cálculo numérico, de programación y de estadística [14].

La programación del computador se realizó inicialmente en los lenguajes de máquina (programación “directa”) y Alcor apoyándose en la asesoría y publicaciones del Centro [18][19]. Para superar la incomodidad de la programación en lenguaje de máquina, el ingeniero Fernando Vildósola desarrolló Adrela, un pequeño lenguaje ensamblador. Posteriormente, desarrolló Ladrea que traducía programas desde el lenguaje de máquina al lenguaje Adrela [20]. Años más tarde, implementó Slap (un lenguaje simple para la programación automática) [21]. Años después, el ingeniero electricista Herbert Plett implementó el lenguaje TNP [22].

VI. EVOLUCIÓN DEL CENTRO DE COMPUTACIÓN

Con la reforma estructural de la Facultad en 1964, a partir del 1° de enero de 1965 el Centro de Computación junto con el Centro de Matemáticas conformaron el Departamento de Matemáticas dirigido por el ingeniero Efraín Friedmann [14].

Para entonces el Centro de Computación contaba con el siguiente personal:

- 8 investigadores de jornada completa
- 4 investigadores auxiliares con media jornada (estudiantes de Ingeniería)
- 6 programadores de jornada completa
- 7 programadores ayudantes con $\frac{1}{4}$ de jornada
- 1 técnico de mantención del equipo
- 2 operadores de consola (del panel de control del computador)
- 1 operador de teleimpresores
- 1 bibliotecaria
- 2 secretarias
- 1 portero y 1 chofer

Los ocho investigadores de jornada completa eran ingenieros egresados de la Universidad de Chile:

- Efraín Friedmann, Ingeniero Civil y Eléctrico con estudios de ingeniería nuclear.
- Santiago Friedmann, Ingeniero Civil y Doctor de la Universidad de Berkeley, California.
- Manuel Quinteros, Ingeniero Civil y becado en MIT.
- Francisco Radó, Ingeniero Civil.
- Víctor Sánchez, Ingeniero Mecánico Industrial (Universidad Técnica del Estado).
- Héctor Hugo Segovia, Ingeniero Civil Industrial y becado en Universidad de Berkeley, California.
- Pedro Torga, Ingeniero Civil Industrial y becado en MIT.
- Germán Torres, Ingeniero Civil.

La labor docente más importante del CEC comenzó en marzo de 1966 cuando la Facultad introdujo un curso semestral de “Computación y Cálculo Numérico” en el segundo año de las carreras de Ingeniería. El curso se orientaba a la comunicación hombre-máquina a través de diversos lenguajes para el cálculo numérico y no numérico en el computador ER-56: lenguaje de máquina, Algol y Lisp. Para apoyar el curso se escribió un texto de 7 capítulos cuyo editor fue Efraín Friedmann. Los 4 primeros se refieren a los computadores y a los fundamentos de programación y fueron escritos por Adriana Kardonsky y Víctor Sánchez. El capítulo 5 presenta el lenguaje Algol y su autor es Víctor Sánchez. Los capítulos 6 y 7, de “Análisis Numérico” y de “Programación no Numérica” (usando LISP), fueron escritos por Manuel Quinteros y Hugo Segovia respectivamente. En el Anexo 3 se presenta la tabla de contenidos del libro que permite apreciar el estado del arte de la enseñanza de la computación después de 3 años de experiencia del uso del ER-56 [23].

Las nuevas y crecientes necesidades docentes y de servicio aconsejaron una ampliación del ER-56. Lamentablemente, la fábrica SEL cerró y “Lorenzo” fue uno de los 5 equipos que se contruyeron. El CEC buscó una alternativa que se concretó en diciembre de 1966 con la adquisición e instalación de un IBM/360-40, un computador de “tercera generación” (tecnología de circuitos integrados) y de “propósito general” (para aplicaciones científicas y administrativas). Consecuentemente, el intenso uso del ER-56, de alrededor de 8 horas diarias utilizando cintas de papel perforado, fue rápidamente desplazado por el nuevo computador que utilizaba tarjetas perforadas, discos y cintas magnéticas. A mediados de los setenta terminó sus días como una reliquia utilizada con fines didácticos y para demostraciones (como por ejemplo la interpretación musical del “vuelo del moscardón”) hasta ser lentamente desmantelado [24].

CONCLUSIONES

Hemos trazado la trayectoria del primer computador universitario que llegó al país, y el ambiente que lo permitió y que a su vez se generó producto de su llegada.

El computador ER-56 estableció las relaciones entre la computación y el mundo científico e industrial en Chile resolviendo problemas de diversas áreas de la ingeniería. Su entorno, el Centro de Computación de la Universidad de Chile, se constituyó en un “Centro Nacional de Cálculo” que brindó servicios de entrenamiento, asesoría y procesamiento al medio nacional.

El Centro hospedó el núcleo inicial, el embrión, de la investigación en computación en Chile. Fue en torno al ER-56 que académicos e ingenieros diseñaron lenguajes e implementaron compiladores. La continuidad y progreso de este quehacer gatilló posteriormente la creación de las primeras carreras profesionales y un departamento científico y académico que contribuyó importantemente a la configuración y el desarrollo posterior de la disciplina.

De los antecedentes presentados, es interesante colegir que esta empresa fue una exitosa labor colectiva, con participantes de diversas formaciones y orígenes. Muchos de ellos contribuyeron posteriormente a desarrollar el área en otras instituciones nacionales.

La actividad computacional desarrollada en torno al ER-56 no pasó inadvertida. Los principales periódicos recogieron su inauguración, y siguieron las noticias sobre sus actividades. Las organizaciones profesionales y académicas comenzaron a hablar de la computación e incorporar el tema en sus agendas. Una nueva época había nacido para el país.

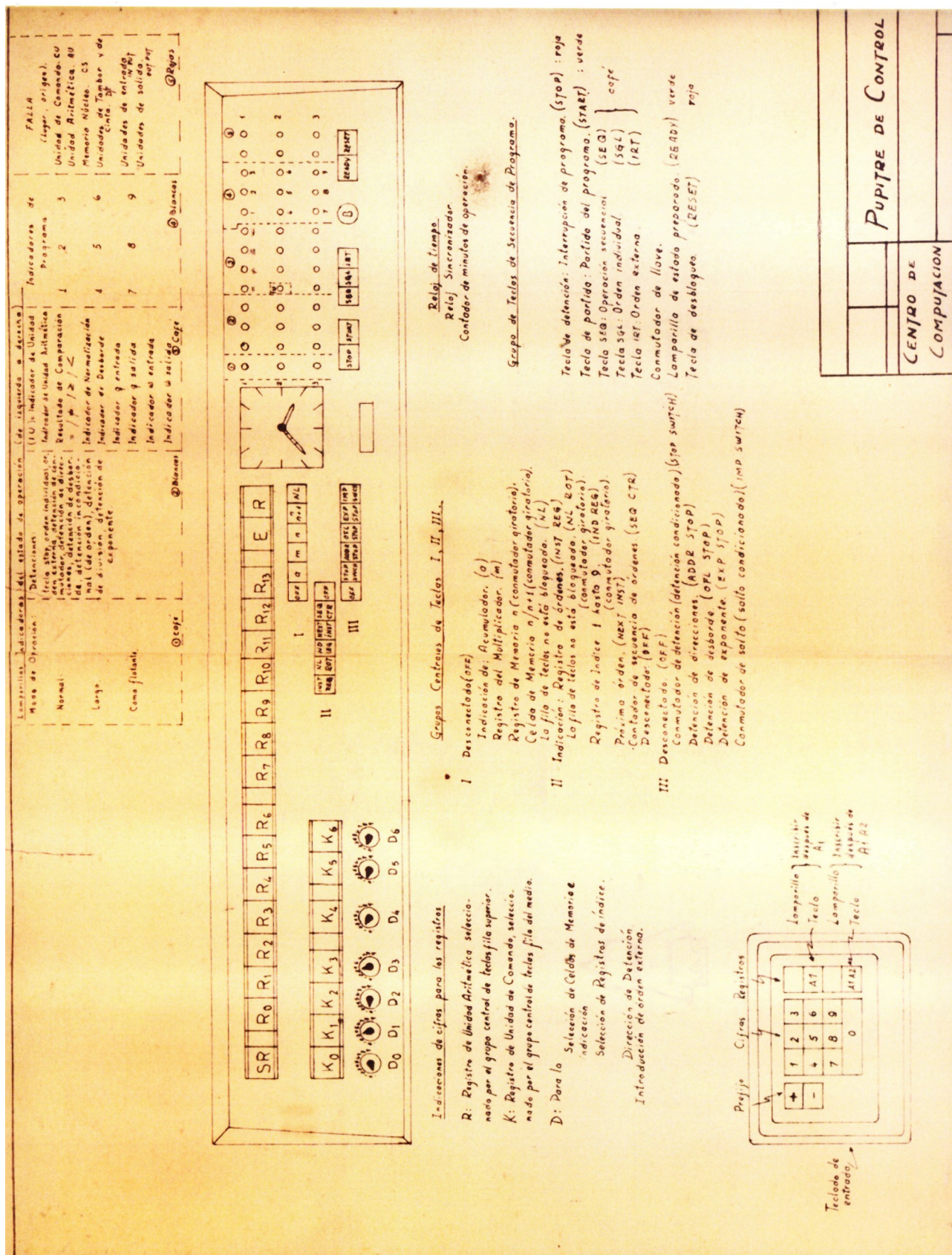
REFERENCIAS

- [1] Álvarez, Juan; Gutiérrez, Claudio. “History of Computing in Chile, 1961-1982: Early years, Consolidation and Expansion”. IEEE Annals of the History of Computing (por aparecer). Versión pre-print en: <http://www.computer.org/csdl/mags/an/preprint/man2012990081-abs.html>
- [2] Álvarez, Juan. “El primer computador digital en Chile: Aduana de Valparaíso, diciembre de 1961”. Revista Bits. DCC, FCFM, U. de Chile. 2° semestre 2011. Versión digital en: http://dcc.comopapel.com/revista_bits_de_ciencia/6/#!/page/20-21.
- [3] González, Guillermo. Presentación en I Taller de Historia de la Computación en Chile. Santiago. 2009.
- [4] Brokering, Walter; Ohrband, Herbert. “El computador análogo electrónico y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería”. Memoria de Ingeniero Civil Electricista. FCFM, U. de Chile. 1960.
- [5] Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Acta de la sesión n°103 del Consejo de la Facultad. 2 de julio de 1959.
- [6] Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Acta de la sesión n°122 del Consejo de la Facultad. 17 de agosto de 1961.
- [7] Sáez, Raúl. “Universidad y Empresa”. Boletín de la Universidad de Chile n° 1, abril 1959.
- [8] “Hombres que moldearon la historia de Beauchef”. Revista FCFM. N° 46, pp. 54-57. Primavera 2009.
- [9] González, Guillermo. “Curso de programación del computador digital ER-56”. IIEE. 1961.
- [10] Diario La Nación. “Computador electrónico se incorpora a administración de las empresas chilenas”. 9 de diciembre de 1961.
- [11] Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Acta de la sesión n°135 del Consejo de la Facultad. 11 de enero de 1962.
- [12] Riesenköning, Wolfgang. Presentación en I Taller de Historia de la Computación en Chile. Santiago. 2009.
- [13] Friedmann, Santiago. “La era del computador se inicia en Chile. Consideraciones sobre sus efectos en el ejercicio de la Ingeniería”. Anales Del Instituto de Ingenieros. 1962.
- [14] “La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas”. FCFM, U. de Chile. Noviembre 1964.
- [15] Diario La Nación. “Computadores electrónicos dan lugar a la segunda revolución industrial”. 8 de febrero de 1963.
- [16] Diario La Nación. “Cerebro electrónico reemplazará al hombre en tareas improductivas”. 12 de enero de 1963.
- [17] Diario El Mercurio. “Cerebro electrónico adquirido por la Universidad piensa y memoriza”. 12 de enero de 1963.
- [18] CEC. “Descripción del computador digital electrónico Standard Elektrik Lorenz ER-56.1”. CEC. 1963
- [19] Radó, Francisco. “Fundamentos de Programación (orientada al computador ER-56.1)”. CEC. 1963.
- [20] Vildósola, Fernando. Presentación en I Taller de Historia de la Computación en Chile. Santiago. 2009.
- [21] Vildósola, Fernando. “SLAP: un lenguaje simple para la programación automática de un computador digital”. Publ. CEC, Santiago. 1966.
- [22] Plett, Herbert. “TNP: un lenguaje versátil para la programación del computador digital ER-56”. Departamento de Electricidad, FCFM, U. de Chile. 1969.
- [23] CEC. “Curso de Computación y cálculo numérico”. CEC, FCFM, U. de Chile. 1966.
- [24] “Beauchef, la cuna del desarrollo computacional chileno”. Revista FCFM. N° 43, pp. 37-39. Primavera 2008.

Anexo 1: Trabajos de Título de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile que utilizaron el computador ER-56

Año	Especialidad	Ingeniero	Prof.Guía	Empresa	Título de la Memoria
62	Eléctrica	E.Gaete	E.D'Etigny	Endesa	Despacho de carga económico del sist. interconectado mediante el computador digital
63	Eléctrica	E.Bianchi	E.Friedm.	Endesa	La previsión de las demandas de energía eléctrica a corto plazo
63	Industria	P.Taborga	J.Cauas	CAP	Aplicación de la teoría de esperas
63	Civil	M.Quinteros	A.Arias		Estudio teórico del comportamiento de edificios con pisos recogidos sometidos a temblor
63	Industria	H.Segovia		CMPC	Aplicación de los métodos de investig operacional al control de inventarios en la industria
64	Industria	J.Sutter		Endesa	Análisis comparativo de sist. tradicionales y de trayect crítica para prog. y control de obras
64	Industria	A.Krell	J.Cauas	Enami	Aplicación de prog. lineal al problema de distribución de productos minerales de la Enami
64	Civil	F.Radó	A.Arias		Estudio teórico del comport de edificios con pisos recogidos y que se deforman por flexión
65	Civil	M.J.Bolelli		Agua P.	Estudio del cálculo de redes de agua potable usando la computación digital
65	Civil	C.Leighton	J.Monge		Análisis dinámico de edificios con torsión en planta
65	Eléctrica	M.Mertens			Solución de problemas de sismica artificial mediante el computador ER-56
65	Civil	R.Peralta	A.Quintana		Algunos métodos de aerotriangulación
65	Eléctrica	L.Ponce	A.Cisternas		Propagación de pulsos en esferas fluídas heterogéneas
65	Civil	G.Torres		MOP	Diseño de superestructuras en puentes con viga metálica y losa colaborante
65	Civil	J.Wachholtz			Análisis elástico de vigas altas
66	Industria	H.Donoso	J.Cauas	Endesa	Programación Matemática y economías de escala en planificación eléctrica
66	Civil	C.Gaete			Estudio elástico de muros
66	Civil	P.Ortigosa			Solución computacional de un emparrillado de vigas
66	Civil	J.Poblete			Prog. matemática aplicada al estudio del aprovechamiento de recursos hidráulicos
66	Industria	J.Radmilovic			El método de los planos cortantes en la programación no lineal
66	Civil	M.Sarrazín			Proyecto de losa de pruebas para un laboratorio de ensayo de estructuras
66	Industria	A.Scopelli			Modelo de simulación del sistema eléctrico interconectado chileno

Anexo 2: Esquema del Panel de control del computador ER-56 (tomado de [18]).



Anexo 3: Tabla de contenidos del texto "Curso de Computación y Cálculo Numérico" [23]

	págs.
Cap. 1 COMPUTADORES	1 - 4.1
A. Etapas Tecnológicas 1.1 Computadores Electromecánicos 1.4 Computadores Electrónicos a tubos 1.5 Computadores Electrónicos a Transistor 1.6	
B. Mercado actual de computadores 1.7 Aplicaciones 1.11 Medición, cuento 1.12 a) Problemas científicos 1.13 b) Procesamiento de datos 1.14	
Cap. 2 PRINCIPIOS	1.15-1.19
Estructura de un sistema de Computación: a) Diagrama de bloques 1.15 b) Funcionamiento del sistema 1.16 c) Configuraciones típicas 1.17 d) Sistemas de Entrada y Salida 1.19	
Cap. 2.2 UNIDADES FUNCIONALES DE UN COMPUTADOR	2.1- 2.12
a) Unidad de Memoria 2.1 b) Unidad de Control 2.5	
c) Unidad Aritmética-Lógica 2.6 d) Unidades de Entrada y Salida 2.8 e) Memorias de Respaldo 2.11	
Cap. 3 ETAPAS DE LA SOLUCION DE UN PROBLEMA	3.1 - 3.12
Formulación y Análisis del problema 3.1 Planteamiento al algoritmo 3.2 Diagramas lógico-matemáticos 3.3 Programación 3.9 Codificación 3.10	
Cap. 4 PROGRAMACION BASICA	4.1 - 4.18
Descripción de las Unidades Funcionales del Computador Digital ER-56 Standard Elektrik 4.1 Representación de la información de dicho Computador 4.2 Estructura de la palabra de instrucción 4.8 Ejemplos 4.9	
Cap. 5 ALGOL	5.1 - 5.98
Introducción 5.1 Definición de ALGOL y ALOCR 5.4	
Definiciones básicas 5.6 Rango de la representación interna de los números 5.8 Identificadores 5.9 Operador de definición 5.9 Variables 5.11 Expresiones Aritméticas 5.12 Ejemplos de expresiones correctas e incorrectas en ALGOL 5.14 Funciones standards y Expresiones Lógicas 5.17 Estructura de un Programa 5.24 Declaraciones, Programa elemental 5.24 Instrucciones 5.26 Rótulos y las Instrucciones 'got to' y lógica 5.37 Instrucción 'for' 5.45 Arreglos (Arrays) 5.51 Switch 5.57	
Estructura de bloques 5.63 Rótulos en estructura de bloques 5.69 Procedimientos 5.73 Llamada por nombre 5.76 Llamada por valor 5.79 Especificaciones 5.83 Funciones 5.85 Procedimientos recursivos 5.87 Procedimientos en Código 5.90 Restricciones 5.91 Bibliografía 5.98	
Cap. VI ANALISIS NUMERICO	6.1 - 6.77
Prefacio, Introducción, Errores de Cálculo Numérico 6.1 Errores por redondeo 6.4 Propagación de errores. Errores absolutos 6.9 Errores relativos 6.10 Ejemplos 6.12 Ejercicios 6.16 Aplicaciones de Algebra Lineal. Resolución de un sistema de ecuaciones lineales por el método de eliminación 6.18 Programa general 6.21 Errores por redondeo y criterio para elección del pivote 6.25 Errores "probables". Errores por truncamiento 6.29 Ajuste cuadrático de curvas 6.31 INTERPOLACION. Definición de diferencias divididas 6.39 Fórmula de interpolación de Newton 6.47 Polinomio de interpolación de Lagrange 6.51 Fórmula de Gregory Newton 6.52 Fórmula de Gauss 6.53 Fórmulas de Stirling y de Bessel 6.56 Fórmula de Everett 6.60 Ejercicios 6.63 Algunas fórmulas de integración numérica. El método. Fórmulas del error 6.64 Fórmulas de Newton-Cotes. Primera fórmula de la regla de Simpson. Regla de Weddle. 6.66 Ejercicios 6.72 Ecuaciones Diferenciales Ordinarias 6.74 Sistema de ecuaciones diferenciales 6.77	
Cap. VII PROGRAMACION NO NUMERICA	7.1 - 7.43
Procesadores de listas 7.2 Árboles y listas 7.3 Representación de listas en la memoria de un computador 7.4 Procedimientos recursivos e iterativos 7.6 Procesador de listas "LISP ER-56" 7.7 Implementación en el ER-56 7.14 El sistema 7.15 Funcionamiento 7.16 Recolector de basura 7.17 Ejemplos 7.19 Lista inicial de átomos 7.23 Lista de detenciones 7.24 Operación del intérprete 7.25 Descripción del intérprete de LISP en su propio lenguaje 7.27 Bibliografía 7.30 Ejercicios 7.31 Compiladores y sistemas 7.35 Búsqueda, ordenamiento y clasificación de información 7.40	