

CAPÍTULO V

INCORPORACIÓN A LA INGENIERÍA VENEZOLANA DEL CONCRETO REFORZADO Y SUS INCERTIDUMBRES

José Grases, Arnaldo Gutiérrez y Rafael Salas Jiménez

¿Entre los materiales existentes, cual prefiere?
*“Actualmente lo que hay es hormigón y acero,
pero yo prefiero el hormigón por ser más
moldeable, menos frío, más pobre
y brutal, si se quiere...”*
Carlos Raúl Villanueva, 1969 (Nota 1)

Resumen

A finales del siglo XIX se introdujo en Venezuela el empleo del concreto como material de construcción. Se recoge aquí la evolución de diversos aspectos de esa nueva tecnología que abarca obras hidráulicas, instalaciones portuarias, viales, desarrollos urbanos y edificios en general. Se han reseñado brevemente contribuciones de autoría venezolana publicadas durante el primer tercio del siglo pasado. Se prestó atención al progresivo desarrollo de documentos normativos y especificaciones de construcción desde sus inicios en 1938 hasta el presente, especialmente en el dominio del control de calidad y reconocimiento de la naturaleza incierta de la resistencia a la compresión del concreto. Finalmente se destaca su empleo en la construcción de algunas de las grandes presas actualmente en servicio.
Palabras clave: concreto; historia; normalización; plantas de cemento

Summary

At the end of the XIXth century the use of concrete as a construction material was introduced in Venezuela. The evolution of several matters related to that new technology is presented; it extends from harbor installations, roads and bridges, up to buildings and urban developments. Written technical contributions signed by Venezuelan authors, published in this country during the first third of the last century have been identified and shortly revised. Particular attention has been given to the progressive development of codes and specifications since 1938, mainly in the concrete quality control domain and the explicit recognition of its compressive strength uncertain nature. Use of mass concrete in large dams is also referred.
Key words: concrete; civil engineering history; codes; cement plants

V.1. ANTECEDENTES

El concreto, tal como se conoce actualmente, tuvo sus inicios en la segunda mitad del siglo XVIII con las investigaciones sobre cales de John Smeaton y Joseph L. Vicat. A principios del siglo XIX se desarrolló el cemento Portland y, a comienzos del siglo XX, se estudiaron y establecieron la mayor parte de las relaciones que gobiernan el comportamiento del material. Su evolución y avance ha sido permanente, habiendo logrado adelantos tecnológicos importantes. Algunos ejemplos son: el concreto precomprimido, el concreto liviano, el uso de los aditivos químicos, los concretos ultrarresistentes, los de exigente comportamiento y otros, todos ellos empleados en obras de nuestro país.

Dentro del mundo de la construcción el concreto fue y aún es, en sus diversas variantes, el material de uso más extendido en zonas urbanas. Se estima que este material es el segundo en cantidad que usa el hombre; después del agua, donde hay actividad humana organizada hay concreto. Cada año se produce un tercio de tonelada de concreto por cada ser

humano en el planeta, unos 2.000 millones de toneladas de concreto según estadísticas del año 2002.

El concreto no resiste casi tracción. Puede ser reforzado, generalmente mediante la colocación de barras de acero embebidas en su masa, dando origen al llamado: concreto reforzado o armado. El concreto también ha sido reforzado con otros elementos, tales como fibras vegetales, metálicas o plásticas. Las primeras no han dado tan buenos resultados como las otras, debido a su menor durabilidad.

Desde sus inicios, el concreto reforzado se constituyó en una solución para la construcción económica y rápida de estructuras de envergadura y calidad, duraderas, con frecuencia sustituyendo la piedra. Una de las ventajas sobre la piedra es que ésta trabaja por gravedad, piedra sobre piedra; en cambio, el concreto reforzado queda 'cosido' con las barras de acero que le sirven de refuerzo o armadura, lo cual permite formas, luces y voladizos imposibles de lograr con aquélla. La baja resistencia a la tracción del concreto simple, se compensa con la presencia del refuerzo metálico.

V.2.- PRODUCCIÓN DE CEMENTO EN EL PAÍS

La industria cementera nacional comenzó con la fundación en 1907 de la planta La Vega, en Caracas, la cual inició su producción en 1909. El gerente de esa empresa, el ingeniero A. Smith, describió en detalle la nueva fábrica de cemento inaugurada oficialmente por el General Juan Vicente Gómez el día 19 de abril de 1909 (Smith, 1911). Para esas fechas, la capacidad de producción de esa planta era de 100 barriles diarios ó 36000 barriles por año (200 sacos de 85 kg equivale a 100 barriles; o sea la producción alcanzaba unas 17 ton/día). Poco después su capacidad se incrementó a 30 toneladas métricas por día, aproximadamente equivalente a unos 700 sacos, suficiente para producir poco más de 100 m³ de concreto al día. Para el año 2003, la capacidad instalada de producción en Venezuela alcanzó alrededor de 27000 toneladas por día.

V.2.1.- Desarrollo como Industria Nacional

Algunos datos acopiados sobre la evolución progresiva de la industria cementera en Venezuela se dan en la **Tabla V.1**.

TABLA V.1
Crecimiento de la Industria Cementera Venezolana

IDENTIFICACIÓN	AÑO DE INSTALACIÓN	OBSERVACIONES
C.A., Fábrica Nacional de Cementos La Vega.	1909 (inicio de producción)	Luego pasó a ser C.A: Fabrica Nacional de Cementos, SACA
C.A., Fábrica de Cementos Carabobo	1940	Posteriormente Consolidada de Cementos, C.A.
Fábrica de Cementos Táchira	1944	Ubicada en La Blanca, su capacidad de producción para ese año fue de 50 Ton métricas/día
Planta de Barquisimeto, C.A., Vencemos Lara	1945	Corporación Venezolana C.A. (¿primer nombre?)
Planta de Maracaibo C.A., Vencemos Mara	1947	
C.A., Cementos Táchira	1948	
Planta Pertigalete I, C.A., Vencemos Pertigalete	1949/50	
C.A., Cementos Coro	1958	Luego Consolidada de Cementos, C.A.
--	1962	La producción nacional de cemento (1.500000 Ton/año) se estimó como la más alta de América Latina.
Consolidada de Cementos,	1964	Resultante de la fusión de Cementos

C.A.		Coro y Cementos Carabobo
Cementos Guayana, S.A.	1967	Luego filial de la Corporación Venezolana de Cementos, C.A. A partir de 1991 fue convertida en molienda de clinker
Fábrica Nacional de Cementos, SACA	1968	Planta Ocumare
Planta de cemento de escoria en Guayana	1970	Inauguración
Planta Pertigalete II, C.A., Vencemos Pertigalete	1973	Iniciada en 1962; concluida y ampliada (Guinand y Brillembourg) ⁽¹⁾
Cementos Caribe, C.A., Cumarebo	1979	Entra en funcionamiento con capacidad de producción de 3 mil toneladas/día
Cementos Catatumbo, C.A., Villa del Rosario, Zulia	1980	Finalizan su construcción y entra en producción
Horno 7 de Pertigalete II, C.A. Vencemos, Pertigalete	1990	En funcionamiento
Horno 2 de Consolidada de Cementos C.A.	1993	En construcción, San Sebastián, estado Aragua (EDIFICA) ⁽¹⁾

(1) Empresa constructora.

En el tiempo hubo fusiones administrativas. Por ejemplo, en 1940 se instaló la fábrica de cementos Carabobo y en 1964 al fusionarse con Cementos Coro, pasó a denominarse Consolidada de Cementos C.A. En 1943 se creó la Corporación Venezolana de Cemento C.A., luego denominada C.A. Vencemos Lara, que inició producción en 1945. C.A. Cementos Táchira inició su producción en 1948 y Vencemos Mara un año antes. La planta de Vencemos Pertigalete (Pertigalete I) y la de Cementos Coro comenzaron a producir en 1958.

En la **Tabla V.2** se da información publicada por la Asociación Venezolana de Productores de Cementos (AVPC, 1976), la cual llega al año 1957. Es fácil constatar que la producción nacional de cementos tuvo incrementos importantes consecuencia de la instalación de las nuevas plantas de producción anotadas en la **Tabla V.1**; este incremento fue notorio con la entrada en producción de la planta de Pertigalete I.

TABLA V.2
Producción Nacional, Importación y Consumo de Cemento
En Venezuela (Toneladas Métricas/Año) (Fuente: AVPC, 1976, p. 63)

Año	Producción Nacional	Importación	Consumo
1910	13.000	--	--
1937	44.626	55.374	100.000
1940	87.062	111.152	198.214
1944	119.232	177.768	297.000
1948	214.513	421.700	636.213
1950	501.006	329.179	830.185
1953	982.309	18.870	1.001.179
1954	1.213.021	12.035	1.225.056
1955	1.282.295	4.530	1.286.925
1956	1.451.171	16.195	1.451.171
1957	1.747.320	174.000	1.921.320

Progresivamente el país pasó a ser exportador de cemento. En la **Tabla V.3** se reproducen datos hasta el año 1974 provenientes de la misma fuente (AVPC, 1976).

TABLA V.3
Producción Nacional, Consumo y Exportación de Cemento
en Toneladas Métricas/Año (Fuente: AVPC, 1976, p. 66-68)

Año	Producción Nacional	Consumo	Exportación
1958	1.705.766	1.618.673	5.621
1960	1.477.880	1.482.762	37.522
1962	1.521.904	1.329.861	178.053
1964	1.860.406	1.637.538	196.156
1966	2.100.584	1.934.651	165.348
1968	2.438.418	2.258.048	107.627
1970	2.646.621	2.310.765	203.319
1972	2.981.544	2.826.569	194.554
1974	3.494.495	3.269.932	176.037

V.2.2.- Calidad del Cemento Nacional

De acuerdo con Arcila (1974, p. 216-216) desde el primer momento el cemento nacional se vendió más barato que el extranjero: Bs 18 el barril de 190 kgf, frente a Bs 24 el importado. Para determinar la calidad del producto, el MOP designó una comisión integrada por los ingenieros J.M. Escobar, Germán Jiménez, Alfredo Jahn y T. Ortega Martínez para que hiciesen, en la Sala Técnica, las pruebas de resistencia. Según Arcila (1974, p. 216) estas se realizaron entre el 9 de junio y 6 de julio de 1909. El resultado se consideró muy satisfactorio, pues los valores encontrados dieron una resistencia de 47.3 kgf/cm² en las pruebas hechas con briquetas de cemento puro de ocho días, y de 26.5 kgf/cm² para las mezclas de: 1 de cemento y 3 de arena (**Nota 2**).

V.3.- ANTECEDENTES SOBRE EL USO DEL CEMENTO

Según se indica en Porrero et al (2004, p 33), para enseñar el uso del concreto vino a Caracas el técnico José Couleau, de la fábrica francesa VICAT, en fecha posiblemente anterior a 1880. En el citado texto, se indica que la pavimentación de la Plaza Bolívar de Caracas fue el primer empleo de cemento en Venezuela. No hemos encontrado el origen de esa referencia (**Nota 3**).

En la *Memoria del MOP*, 1881 citada por Arcila (1961, II, p 459), se señaló que durante 1880 se repararon en la ciudad algunas calles y se construyeron nuevas aceras con concretos hechos a base de cemento importado. Igualmente, se tiene conocimiento que ese mismo año se presentó un proyecto para construir un sistema de cloacas con bóvedas de concreto, el cual no se llegó a ejecutar. En la **Sección V.5** se anotan algunas de las primeras aplicaciones del concreto en obras hechas en el país. Debe señalarse aquí que el Ministerio de Obras Públicas estableció en 1941, las: *Especificaciones normales para cemento Portland* (MOP, 1941), un documento pionero en el área de las normas industriales venezolanas.

V.4.- BARRAS DE REFUERZO O CABILLAS

V.4.1.- Producción de Acero en el País

Según se recoge en Porrero et al (2004, p 33), la producción de acero en Venezuela comenzó como consecuencia de la demanda de barras de refuerzo -cabillas- para el concreto armado empleado en la construcción. La primera iniciativa para resolver tal problema, fue de un grupo de inversionistas en 1946: la *Fábrica Nacional de Cabillas*, la cual no prosperó y pasó a producir faroles de hierro que, por muchos años, adornaron las calles de Caracas. Entre el grupo de inversionistas venezolanos, se encontraban: Leopoldo Baptista, Martín Pérez Matos y Guillermo Machado Morales. Aparentemente la iniciativa no fue exitosa por fallas en el suministro de energía eléctrica con la cual operaban los hornos instalados (Morales, 2009).

En 1948, se registró la empresa *Siderúrgica Venezolana Sociedad Anónima* (SIVENSA) la cual produjo su primera colada en su planta de Antímamo el año 1950. Esa colada de 5 toneladas, provenía de un horno con capacidad para 40 ton/día. Tres años después duplicó su capacidad de producción y, siete años más tarde, SIVENSA alcanzó a cubrir el 4%

de la demanda nacional con una producción anual de 50 mil toneladas métricas. La demanda nacional creció de tal forma que el Estado decidió explotar los grandes yacimientos del bajo Orinoco, para lo cual creó la Siderúrgica del Orinoco (SIDOR) con capacidad instalada de 900 mil toneladas anuales. Su primera colada en su planta de Matanzas, se logró en julio de 1962. Para 1990, la capacidad instalada nacional alcanzó unos 5.3 millones de toneladas anuales (Nota 4).

V.4.2.- El Empleo del HELIACERO

Hacia los años 60 en Alemania era frecuente el empleo del acero denominado Torstahl ('acero torcido'). A mediados de esa década se introdujo en Venezuela el acero torcido en frío, el cual se adquiría bajo la denominación comercial de Heliacero (Heliacero, 1965).

Estas barras -tensadas y torcidas en frío- tenían la cualidad de que los resaltes quedaban en forma de espiral, lo cual favorecía la adherencia. Además, las deformaciones en frío elevaban el límite de proporcionalidad, lo cual permitió una reducción en las áreas netas de acero. En el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales de la UCV, se hicieron ciclos de ensayos sobre estos aceros (Ramos y Serre, 1969).

El desempeño de las estructuras de concreto armado bajo las acciones sísmicas, reveló la deseable reserva en el rango de deformaciones inelásticas en las secciones de concreto armado (Báez, 1973). Para el caso particular del Heliacero, el incremento en el límite de proporcionalidad se lograba a costa de consumir parte de esa capacidad de deformación inelástica, lo cual limitó su empleo y poco a poco cayó en desuso.

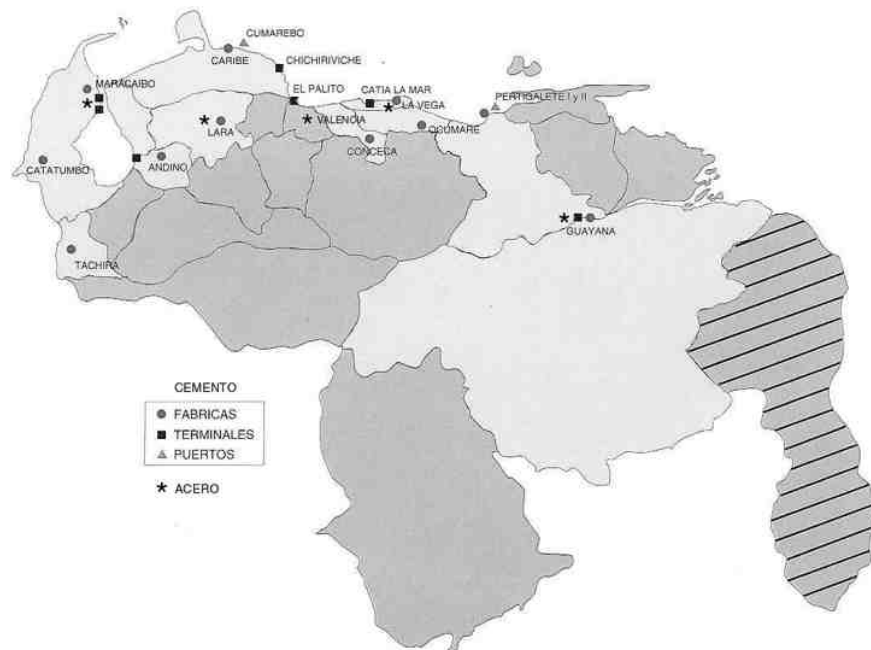


Figura V.1 Distribución Geográfica de las Plantas Productoras de Cemento y de Acero (Mapa base: AVECRETO, 2004)

V.5.- EMPLEO DEL CONCRETO REFORZADO EN VENEZUELA

Desde fines del siglo XIX, destacados ingenieros del país controlaron la correcta ejecución de obras de importancia cuyos proyectos no siempre fueron hechos en Venezuela; por ejemplo: el uso del concreto armado en puertos, muelles y faros. Ya entrado el siglo XX, fueron profesionales venezolanos quienes asumieron responsabilidades en los proyectos, la ejecución e inspección de obras de concreto armado.

V.5.1.- Obras Marinas y Reparaciones

V.5.1.1.- Puerto y Muelle de La Guaira

En adición a descripciones que se dieron en la obra del doctor Arcila Farías (1961, II, pp. 311-353), sobre las obras y correctivos del Puerto de la Guaira es obligada la consulta del libro publicado por el ingeniero Bernardo A. Nouel C. (1991), testigo de excepción, así como la biografía del ingeniero Manuel Cipriano Pérez escrita por su discípulo ingeniero Hernández Ron (1975), quien narró las intervenciones del ingeniero Pérez en evaluaciones de esa obra (**Nota 5**).

En 1842, durante el gobierno del General Páez, un ingeniero norteamericano de nombre Walter, sometió a consideración de las autoridades un proyecto para la construcción de un tajamar en el futuro puerto de La Guaira (Arcila Farías, 1961, p 315 y siguientes). También reprodujo Arcila la narración del Consejero Lisboa, quien vio la obra terminada en 1847; la acompaña con la opinión desfavorable de la solución, emitida por un vecino de Caracas, quien pronosticó que la escollera no llegaría a cumplir su función. Efectivamente, el Consejero vio lo que quedaba de la obra en 1852: arruinada, obstruida de arena y la muralla completamente desmoronada; anotó el citado Consejero: “*Fue el triunfo completo de la práctica o del instinto sobre la teoría*”.

Años después, en 1885, el General Guzmán Blanco, en su condición de Ministro Plenipotenciario de Venezuela en Europa, celebró un nuevo contrato con Taggart y Co. que, en Londres, organizó una compañía que se denominó: *La Guaira Harbour Corp.* Aprobado el contrato, en diciembre de 1885 se procedió a la colocación de la ‘*Piedra Fundamental*’: un bloque de 15 metros de largo por 3 de ancho, que pesaba 140 toneladas. Sobre su colocación quedó constancia en el ‘*Acta de Colocación de la Primera Piedra*’ según la cual: “...se incrustó una caja de concreto que contuvo un ejemplar del acta de este evento...números de los periódicos ‘*La Nación*’, ‘*La Opinión Nacional*’ y ‘*El Diario de La Guaira*’ y algunas monedas nacionales y de Inglaterra’. Sobre esa *caja de concreto* no hemos encontrado referencia posterior. Esta marcó el inicio de la construcción de un rompeolas de 625 m de largo aproximadamente, orientado de Este a Oeste. Según Nouel (1991, p. 25 y siguientes), en sus fundaciones se dispusieron grandes sacos de concreto.

Vistas las condiciones del sitio y corrientes locales, para la ejecución de la superestructura y arrecifes, se decidió el empleo de: ‘...sacos de concreto, pesando alrededor de 160 ton cada uno, lanzados desde una gabarra con compuertas de fondo’. Se señala en esa crónica que el granzón necesario para dicho concreto, el cual era dispuesto en sacos de yute, no podía obtenerse sino desde puntos distantes hasta unas dos millas del sitio. También se dejó constancia allí que cualquier forma de concreto vaciado dentro de encofrados fue imposible hacerlo debajo del agua. Luego de diversos intentos: ‘...el muro fue acabado con concreto ciclópeo...sistema que probó ser económico y permitió un rápido progreso’. No se da información en ese texto sobre el origen o tipo de cemento empleado

Dos años después, la marejada de los días 2 y 3 de diciembre de 1887 destruyó buena parte de la obra hecha. Recomenzada en 1888, ya para marzo de 1889 las obras se encontraban muy adelantadas y, en julio de 1891, quedó concluido el tajamar. No se indica en el texto si hubo cambios en la metodología constructiva adoptada. El testimonio anterior, señala el empleo del concreto en esta obra portuaria, al igual que se hizo en otras obras como se indica más adelante.

V.5.1.2.- Participación del Ingeniero Manuel Cipriano Pérez

Para fines de 1896 y principios de 1897, el Ministerio de Obras públicas había recibido muchas quejas del comercio de La Guaira y de las líneas de vapores, sobre el mal estado en que se encontraba la casi totalidad de las obras de ese importante puerto: tanto el

estado del tajamar como el de los muelles, murallas, almacenes y, especialmente, el poco fondo del puerto, fueron objeto de críticas.

Para saber la verdad de lo que acontecía y para ver si la Corporación del Puerto de La Guaira cumplía las cláusulas del contrato vigente, el Ministerio comisionó con fecha 16 de Febrero de 1907 al ingeniero Manuel Cipriano Pérez: “...para que examinara las diferentes obras que constituyen el puerto artificial y sus dependencias e informara al respecto”. Ocho días se pasó el ingeniero Pérez en dicho puerto, y como resultado de la inspección entregó al Ministerio un extenso y detallado informe, en el cual pone el manifiesto las malas condiciones en que se encontraban las obras del puerto y sus dependencias. En la biografía del ingeniero Hernández Ron (1975, p 34 y siguientes), se reproducen las parte de mayor interés del informe. Entre ellas, las siguientes:

- “Tajamar. La obra esencial del puerto, el Tajamar ó rompe-olas está atravesado en todas partes de su longitud por grietas muy numerosas y profundas y por anchas troneras, entre las cuales hay tres cuyas bocas miden de 2 metros a 2,50 de altura por un metro ó más de altura... además, el ruido estentóreo /de una de ellas/ semejante al de una explosión, que producen las olas al entrar en el puerto por esa tronera, se percibe claramente a distancia de medio kilómetro”.
 - “La escollera de bloques de concreto que ha de matar la ola antes que choque con el Tajamar, falta en algunos trayectos, y en otros es insuficiente como lo indica el plano de la Corporación, siendo de advertir que en mi opinión se requiere todavía un número de bloques mucho mayor que el que allí se ve anotado”.
- Con relación a la muralla del sur, el ingeniero Pérez informó:
- “De los 400 metros de longitud que mide esta obra, solo quedan en pie 125 metros con algunas socavaciones y ninguna garantía de solidez: en 105 metros ha desaparecido, y en el resto está destrozada. El terraplén que ella sostenía ha sido lavado por el mar y las lluvias”.
 - “A juzgar por el aspecto que presentan las roturas de la mampostería, el concreto aunque bastante fuerte, no ha sido empleado en cantidad suficiente en relación con el volumen de la piedra, notándose más este defecto en el interior del macizo”
 - “En resumen, ciudadano Ministro, el puerto de La Guaira no ha sido construido al tenor de los pactos vigentes entre el Gobierno y la Corporación. Según el plano aprobado faltan muelles y los actuales no bastan para el servicio. El aspecto general de las obras es de ruina, producida por un largo abandono”.
 - “El puerto está llenándose de arena, y el Tajamar, entrando ya en el período de su desaparición. En presencia de tal estado de cosas, el suscrito concuerda con la opinión general que, desesperanzada de las promesas de la Compañía, clama porque el Gobierno Nacional salve la obra interponiendo su acción inmediata y enérgica”.

V.5.1.3.- Nacionalización del Puerto

En vista de que la Corporación no atendió las reiteradas demandas del MOP sobre las urgentes reparaciones que necesitaba el puerto que estaba en la obligación contractual de ejecutar, el Ministro de Obras Públicas llevó el caso al Consejo de Ministros, y este autorizó al Ministro para que pasara: “...todos los documentos que se relacionan con la Corporación del Puerto de La Guaira al Procurador General de la Nación para que acompañado del doctor Santos Ortega, haga los estudios necesarios y proceda a intentar y seguir ante el Tribunal competente todas las acciones que correspondan al Gobierno Nacional”.

Las instalaciones del puerto fueron nacionalizadas por el general Eleazar López Contreras en 1936. En 1944 se contrataron: (i) labores de ampliación de los muelles y mantenimiento con la empresa danesa Christian & Nielsen, y; (ii) con la Raymond Concrete Pile Co. de Venezuela, la construcción de un muelle tipo espigón.

V.5.1.4.- Ampliación del Puerto de La Guaira

Noel (1991, pp. 42-57) explicó en detalle la ampliación más importante del puerto de La Guaira en el lapso 1946-1952. Para 1947 el movimiento del puerto alcanzó entre 900

mil y un millón de toneladas por año, con un congestionamiento que daba lugar a colas de 15 o más barcos para desembarcar mercancía. En estas circunstancias, siendo Ministro de Obras Públicas el ingeniero Eduardo Mier y Terán, el ingeniero Bernardo Nouel desempeñó el cargo de Jefe de la División de Puertos del MOP. Esa División atendió las observaciones del ingeniero Ángel Graterol Tellería, con el fin de lograr instalaciones con capacidad de movimiento superior al millón de toneladas anuales.

El proyecto quedó complementado con la autopista Caracas-La Guaira, la ampliación de las instalaciones portuarias de Puerto Cabello, la autopista Caracas-Puerto Cabello y un eventual puerto en la zona de Carenero en las cercanías del aeropuerto de Higuero, que nunca llegó a construirse. Culminado el estudio conceptual, planificación y anteproyecto de ampliación del puerto, en mayo de 1947 el MOP designó una comisión para analizar las proposiciones que se presentaran para la realización de la ingeniería de detalle.

Esa comisión quedó constituida por los ingenieros: José María Ibarra Cerezo, Ernesto León D., José Sanabria, Ángel Graterol Tellería y Bernardo Nouel. Como resultado de la evaluación, en julio de 1947, el gobierno firmó un contrato por 42 millones de bolívares con la empresa Frederick Snare Corporation, de Nueva York, y un plazo de ejecución de 24 meses, en base a una administración delegada. Esta modalidad fue la más conveniente en ese momento para la Nación, por cuanto la experiencia de la ingeniería Venezolana en obras marítimas y portuarias no era muy desarrollada; de esta manera se facilitaba una transferencia tecnológica adecuada. Como director del proyecto de ingeniería de detalle se designó al ingeniero Alonso Quinn; posteriormente, este fue el autor del texto: *Design and Construction of Ports and Marine Structures*, en el cual se hizo referencia a las obras del Puerto de La Guaira.

En aquel momento, 1947, el Ministro de Obras Públicas era el ingeniero Edgar Pardo Stolk, el Director de Puertos y Aeropuertos era el ingeniero Carlos Carbonell y el ingeniero Bernardo Nouel era el Jefe de la División de Puertos del MOP. Se decidió que este fuera el Inspector Principal del Puerto de la Guaira (enero de 1948), con el respaldo de una oficina integrada por el ingeniero Carlos Sapene como inspector residente y al abogado Rodolfo Plaza Márquez como Consultor Jurídico de la misma; este cargo era delicado pues fue necesario expropiar un número considerable de inmuebles, adquisición de materiales y equipos, y atender los asuntos laborales para lograr un clima de armonía.

Por su parte la compañía Frederick Snare Corporation designó como director de obras al ingeniero Anthony Chamberlain, con el cual se lograron entendimientos técnicos favorables a la obra.

Ya para junio de 1949, siendo titular del MOP el ingeniero Gerardo Sansón, se suscribió el contrato entre la Frederick Snare Corporation y el MOP. Con anterioridad a la suscripción del contrato anterior, el MOP había llegado a un acuerdo con la empresa Stevens and Smith de Pensacola, Louisiana, para la construcción del rompeolas principal; para ello se había previsto explotar las canteras situadas en el río San Julián, Caraballeda. Cuando esa empresa comenzó a presentar retardos, se incorporó a esa obra la Frederick Snare Corporation, utilizando la cantera Piedra Azul de Maiquetía.

V.5.1.5.- Métodos Constructivos Empleados en La Guaira

Sobre los métodos constructivos y explotación de las canteras seleccionadas, para el rompeolas y otras obras del puerto, puede consultarse Nouel (1991, pp. 45 y siguientes). Interesa destacar que una vez concluidas las obras del rompeolas este fue puesto a prueba en diversas ocasiones por la acción de fuertes marejadas.

Anota Nouel (op. cit, página 47) que, avanzada la construcción del rompeolas una embarcación de no menos de 120 m de eslora que estaba anclada en las inmediaciones del puerto hacia el norte, durante un mar de fondo rompió las amarras y se vino a la deriva hasta encallarse en el citado rompeolas. Estudiada la situación, se cortaron las planchas de cubierta del barco, se llenaron las bodegas con roca de filtro y, de este modo, el barco quedó en su sitio cumpliendo una excelente función de defensa y evitando su remoción.

Explica Nouel que el 16 de Enero de 1949 sucedió un fuerte mar de fondo en el Litoral central. La embarcación Caribbean Belle, de unos 29 m de eslora, anclada dentro de la

rada, rompió amarras y fue arrojada contra una sección del pilotaje en construcción el cual tuvo que ser reparado.

V.5.1.6.- Especificaciones

Interesa destacar que las especificaciones para la construcción del rompeolas fueron preparadas por la firma inglesa Sir Alexander Gibbs and Partners. Fueron modificadas por el MOP en forma conveniente para adaptarse al material obtenido de las voladuras, aun cuando en todas ellas se respetó el peso máximo de las corazas, Señala Nouel (p 48) que: ‘...el diseño original de los ingleses para el cálculo de la coraza, no estuvo basado en ningún conocimiento de las condiciones de mares de fondo reinantes en la zona, sino que fue diseñado por comparación con otras obras que estuvieran aparentemente en situaciones similares...’. Después de construida sufrió embates de los mayores mares de fondo sin que presentaran dislocaciones o fallas en ninguna de sus partes.

V.5.1.7.- Extensiones Posteriores del Puerto de La Guaira

Para acondicionar el puerto: malecón Sur, espigón Oeste, un muelle de cabotaje, los almacenes Vargas y la extensión del rompeolas Norte, fue necesario analizar y estudiar los diversos problemas, los cuales fueron hechos por la División de Puertos del MOP. Otras obras que se extendieron hasta 1954 elevaron el costo a 63 millones: un muelle petrolero para la armada nacional, des-amarraderos, canales y drenajes de las quebradas que desaguan en el puerto, terminal de pasajeros y otros (**Nota 6**).

V.5.2.- Muelle de Puerto Cabello

Visto el deterioro de las instalaciones que servían de muelle en Puerto Cabello, en 1894 el ingeniero David León, Ministro de Obras Públicas, invitó a un grupo de ingenieros nacionales y extranjeros a estudiar los trabajos de reconstrucción.

V.5.2.1.- El Proyecto de Paquet

En 1895 el ingeniero belga Norbert Paquet, presentó al Gobierno de Venezuela por intermedio del MOP, memoria descriptiva, planos, cálculos y presupuesto para la construcción de un muro de 450 m de largo, hecho a base de concreto con una estacada de hierro, que viene a ser un antecedente del uso del *Concreto Armado* en Venezuela; anunció que había solicitado del Gobierno Nacional patente de invención para este nuevo procedimiento industrial, cuyas características expuso a la Junta de Fomento. Se trataba de “...un sistema mixto de construcciones de concreto, y postes y vigas de acero protegidas de concreto...” (Hernández Ron, 1975, p 30 y siguientes). De acuerdo con la información recogida por Arcila Fariás (1961, II, p 336 y siguientes), este sistema resolvía problemas a nivel de fundación. Alegaba el proponente que: “esta es la primera vez que se piensa en utilizar el cemento y el concreto, para revestir el hierro. Aunque en otro sentido y a un fin opuesto se emplea el hierro en láminas, varillas y telas, para consolidar las construcciones de concreto (*Sistema Monier*)”. Su método operaba efectivamente en un sentido inverso, pues mientras en el sistema Monier lo fundamental era el concreto y los cálculos tomaban sólo en consideración la resistencia de este material, en el sistema presentado por Paquet, por el contrario: “... la armadura metálica estaba calculada para realizar todo el trabajo y no reclamaba del cemento otra ayuda ‘sino la de preservarla de la acción destructora del aire del mar’”.

La bien sustentada proposición del ingeniero Norbert Paquet, fue estudiada a solicitud del MOP por una Comisión de tres ingenieros: J.M. Ortega Martínez, Manuel Cipriano Pérez y J. Monserrate. El procedimiento propuesto era novedoso: sustituir los elementos portantes de madera, por pilotes metálicos tubulares protegidos ‘por medio de cemento o concreto’

V.5.2.2.- Ejecución del Proyecto

La Comisión señaló algunas modificaciones necesarias al sistema propuesto, las cuales fueron aceptadas por Paquet. En 1895, el Gobierno firmó contrato con ese ingeniero,

agente en Venezuela de la Sociedad John Cockerill, de Seraing, Bélgica, para la construcción de 450 m de muelle en Puerto Cabello. La información anterior, de Arcila Farías (1961, II, p. 341 y siguientes), es detallada en ese texto donde se anota que la obra fue entregada en julio de 1897. Es interesante señalar que los pilotes de acero quedaban macizados interiormente por medio de concreto y revestidos exteriormente por una capa de ese material de 80 cm de diámetro; “...la resistencia del concreto debía ser calculada para una carga de 9 kgf/cm^2 en las partes situadas bajo el agua y de 7 kgf/cm^2 en las partes descubiertas, tomando como término para apreciar la resistencia de la argamasa siete días después de hecha la mezcla”; sobre esta novedosa técnica se publicó en Francia una descripción (Goffin, 1898). No se señala si en la obra hubo algún laboratorio para comprobar la exigencia estipulada (Nota 7).

En la descripción del nuevo procedimiento de protección del hierro, al referirse a los trabajos bajo agua Paquet indicó: “Del mismo modo la compresión violenta del broquel sobre el suelo hará desnivelar a éste y necesitará limpieza subsiguiente, antes de poner los moldes para el concreto. En fin, todos los casos imprevistos que son comunes en los trabajos del puerto, hacen necesaria una cuadrilla de buzos con todos los aparatos más perfectos”. “Sobre cada broquel, por medio del molde especial levantamos un cilindro de concreto muy rico (uno a dos, o uno a tres de 0,800m de diámetro). Del mismo modo cada tubo recibe un relleno de concreto de uno a dos y se ve de ese modo transformando en un poste de piedra artificial” (Nota 8). “Tanto en los cilindros como en las bóvedas de concreto, se incrustarán anclas y ganchos que completan la solidez de la obra”.

De acuerdo con Arcila Farías (1961, II, p. 343 y 344), las estacas de hierro fueron clavadas con martillos de 1.200 libras que caían desde una altura de tres metros. La composición del concreto fue de una parte de arena por una de cemento en el pie de las columnas y de dos de arena por una de cemento en el resto de la parte sumergida, y de tres de arena por una de cemento en la porción fuera del agua.

V.5.2.3.- Prueba de Carga y Aceptación de la Obra

En enero de 1897, Norbert Paquet informó que el 50% de la longitud del muelle ya se había construido. El Ministerio comisionó al ingeniero Manuel Cipriano Pérez para recibir esa parte del muelle y este, luego de cumplir su misión, rindió un informe en el cual destacó algunas observaciones de interés. La primera se refería al servicio que ya había comenzado a prestar esa obra; una vez comprobada que la profundidad de fondo era la prevista, el ingeniero Pérez señaló: “.../su uso/ ha permitido formar juicio de su solidez de un modo eminentemente experimental, pues se han visto hasta 500 toneladas reposando sobre un solo tramo del muelle, esto es, sobre 50 metros cuadrados, sin que la más pequeña conmoción, al descargar los últimos bultos, diera indicio de que se acercara el límite de la resistencia práctica. Esta carga de 50 toneladas por tramo, ó sea 10 toneladas por metro cuadrado, soportada por el muelle con absoluta seguridad, es precisamente el máximo de resistencia ofrecida por los constructores y garantizada por los procedimientos empleados en la ejecución de la obra” (Nota 9).

Finalmente aclaró: “Séame lícito consignar en el presente informe que el feliz resultado del sistema de hierros revestidos de concreto, imaginado por el señor Paquet y hábilmente realizado en Puerto Cabello por los ingenieros Llamozas, Lebrum y Franco es para mí motivo de especial satisfacción, por cuanto fui yo uno de los que, a consulta del Ministerio, recomendaron la excelencia del sistema cuando aún la opinión adversa no había sido rendida por el éxito” (Nota 10).

La totalidad de la obra se inauguró el día 24 de Julio de 1897, y recibida oficialmente por una numerosa comisión integrada por los ingenieros: Eduardo Calcaño, R. Núñez Cáceres, C. Toro Manrique, Félix Martínez Espino, José Herrera Henríquez y Luis A. Urbaneja. Esta comisión certificó que la obra se había ejecutado conforme a los planos y al contrato. Años después para las mejoras del puerto se propuso el empleo de tablestacas ‘Larsen’ (Ibarra Cerezo y Jiménez, 1937).

V.5.3.- Faros de Navegación

Por su interés, se retiene aquí el caso del Faro de Los Roques. Otros faros de navegación se describen en otras secciones de la Memoria sobre la *Ingeniería Estructural en Venezuela*.

V.5.3.1.- Faro de Los Roques

Entre las múltiples tareas que el Ministerio de Obras Públicas le solicitó al ingeniero Manuel Cipriano Pérez, se encuentra la evaluación del Faro de Los Roques, construido en 1874.

En septiembre de 1911 el ingeniero Manuel Cipriano Pérez procedió a: “...examinar las reparaciones que requiere el Faro de Los Roques e informar a ese despacho”. De acuerdo con la descripción del ingeniero Pérez, ese faro: “...era una torre de hierro armada, con escalera y plataforma del mismo metal y montada sobre una base de mampostería de 2.50 m de altura”. “En 1896 estando ya muy corroído el hierro por la acción del ambiente salino, se le cubrió totalmente con mampostería de cal, asumiendo ésta la forma de una pirámide truncada en lo alto de la cual se ven sobresalir horizontalmente la viejas vigas de hierro...”. (Hernández Ron, 1975, p 43)

Como desperfectos el ingeniero Pérez señaló en el informe; “El cuerpo de los muros está bien conservado; solo la cara exterior que da hacia el occidente ha perdido en gran parte su aljorozo, y a lo largo de la arista sur-oeste está desprendiéndose un embono como de 10 cm de grueso”. Refiriéndose a los trabajos por ejecutar señala: “Que la mezcla del nuevo aljorozo sea igual a la del viejo, a saber: 1 de cemento, 3 de cal y 3 de arena...y que la casilla del Guarda.../tenga/ piso de cemento” (Nota 11).

Luego de describir el lamentable estado del faro y del servicio que debería prestar, el ingeniero Pérez acompañó sus recomendaciones con un presupuesto de los trabajos a ser realizados: (1) que la mezcla del nuevo aljorozo sea igual a la del viejo, a saber: una de cemento, dos de cal y tres de arena; (2) reformar la escalera en la forma por él indicada; (3) que el hierro de las vigas sea fundido y el de anillos y baranda, maleable; (3) que los vidrios sean incoloros y el precio neto, de 0.60 de dólar el pié inglés cuadrado; (4)(7) que la casilla del Guarda ...sea con techo de zinc y piso de cemento (Hernández Ron, 1975, pp. 43-47).

V.5.4.- Reparación de la Presa de Caujarao

El ingeniero Luciano Urdaneta, especializado en Francia luego de graduarse en 1843 como integrante de la tercera promoción de la Academia de Matemáticas de Caracas, fue uno de los pioneros en la construcción de obras de infraestructura en el país pues proyectó y construyó el dique de Caujarao. En un detallado informe sobre ese dique y el acueducto hasta Coro (Urdaneta, 1912), el autor dio detalles sobre la construcción de este primer dique hecho en el país y concluido en 1866. Obra de mampostería hidráulica, apoyado en las rocas del sitio de Caujarao, con 86 m de longitud, 10 m de altura sobre los cimientos y 10 m de espesor en su base, fue recibida oficialmente ese año por los ingenieros Manuel María Urbaneja y Juan José Aguerrevere en representación del Ministerio de Fomento (tomado de: Farías, 1961, II, p 386-392; Figuras: 55, 56 y 57). Para impedir las filtraciones se estableció un relleno de 10 mil m³ de arcilla.

Según narró Urdaneta, el río, que en el estiaje solo medía un cuarto de m³ por segundo, en las avenidas podía alcanzar más de mil m³ por segundo. Estas crecientes ocasionaron pérdidas completas de trabajos hechos durante semanas y aún meses. En el citado documento, Urdaneta advirtió sobre el riesgo de filtraciones por la parte inferior, donde el dique no se apoyaba directamente sobre las rocas (Urdaneta, 1912). Este problema, advertido por su proyectista, para el año 1912 había provocado una profunda socavación. La reparación con mampostería de concreto requirió la desviación del río según informe presentado luego de su inspección y reparación por Ibarra Cerezo (1913). En ese informe se describieron los trabajos de reconstrucción del dique de Caujarao, para resolver problemas de socavación ya anunciados por el ingeniero Urdaneta. La taponadura se hizo con mampostería de concreto, empleando cemento venezolano (ver: Arcila, 1961, II, p 392).

V.5.5.- Malecón de Concreto en la Bahía de Turiamo

El ingeniero Francisco José Sucre (1896-1959), se graduó de ingeniero en 1920. Luego de una estadía en Europa para evaluar los contenidos de la enseñanza de la Ingeniería en diversas universidades, a inicios de los años 30 pasó a prestar sus servicios al MOP. Entre los trabajos que le fueron encargados, se cita aquí la construcción de un malecón de concreto armado en la bahía de Turiamo.

A inicios de 1934, el ingeniero Francisco J. Sucre presentó un informe sobre la construcción del citado malecón. Este se requería por la creciente actividad comercial estimulada por el régimen especial de importación aprobado por el Gobierno del general Gómez en 1928.

Según Arcila Farías (1961, II, p. 349), es allí donde se controló por vez primera la calidad del concreto, siguiendo normas técnicas internacionales y ‘*utilizando equipos modernos*’. Esta información proviene del artículo de Sucre publicado en la *Revista Técnica del MOP* (Sucre, 1934) en el cual indicó que las Normas de ensayo empleadas en el citado malecón fueron las ASTM y no las normas y especificaciones elaboradas por el ingeniero Manuel F. Herrera Tovar; estas últimas son referidas por este último profesional en su trabajo sobre las “*Constantes específicas del cemento armado*”, publicado en la *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela* (Herrera Tovar, 1923a). Interesa destacar que los ensayos para controlar la calidad del concreto, hechos a inicios de los años 30 en Turiamo, fueron ejecutados en un laboratorio de campo instalado allí por la compañía norteamericana contratista de esa obra.

V.5.6.- Obras Portuarias en Maracaibo

En 1897 se culminaron extensos trabajos para la refacción del puerto de Maracaibo, obra financiada por comerciantes locales.

De acuerdo con Arcila Farías (1961, II, p. 348), en 1927 se emprendieron los trabajos destinados a dotar a Maracaibo de obras portuarias. Los grandes muelles fueron construidos por la Raymond Concrete Pile Co. y se emplearon grandes pilotes de concreto armado de 10 a 14 m de longitud hincados en el fondo del lago a golpe de martinets de vapor. Como representante del Ministerio en esta obra intervino el ingeniero Luis Eduardo Power. En 1929 culminaron estos trabajos de reacondicionamiento

En 1957 se efectuaron ensayos para evaluar los problemas constructivos para el hincado de pilotes de concreto pretensado como fundaciones en aguas profundas del Lago de Maracaibo. Sobre el hincado de pilotes de concreto en el Lago de Maracaibo para instalaciones petroleras, en 1976 se publicó una extensa compilación en la cual se describen diferentes tipos de pilotes y sistemas de hincado (Hansen y Gonzalez, 1976).

V.5.7.- Primeras Edificaciones y Puentes en Áreas Urbanas

Entre las primeras estructuras de concreto reforzado hechas con cemento nacional, se ha citado el edificio del Archivo General de la Nación en Caracas (Carmelitas a Santa Capilla, avenida Urdaneta) cuya construcción se inició en 1912. Se trató del primer proyecto de un edificio que alcanzó los 12 m de altura, soportando además la carga propia de un archivo. El ingeniero Manuel Felipe Herrera Tovar, Director de la Sala Técnica del MOP, no permitió esfuerzos en el concreto que superasen los 11 kgf/cm²; igualmente en la parte con armadura de la fundación se limitó a 28 kgf/cm² (Arcila Farías, 1961, II, p. 540 y 541). Los planos de esa estructura fueron firmados por el citado ingeniero Herrera Tovar. Edificio aún en servicio, es fácil apreciar que las dimensiones de los miembros portantes de esa edificación son generosas, seguramente por esa precaución mencionada.

El 9 de diciembre de 1924 se inauguró el puente Ayacucho, primer puente con arcos de grandes vanos hecho en concreto armado y que luego retuvo esa identificación; este salva el río Guaire y es continuación de la Avenida de El Ejército (calle Sur 14), en el Paraíso, Caracas. Se trata de un puente de tres arcos de concreto armado: uno central de 30 m de luz y dos laterales de 15 m, con lo cual alcanzó una longitud total de 60 m. El esfuerzo máximo en el concreto estuvo limitado a 40 kgf/cm² (Ayala Duarte H., 1925); en esa referencia, el

ingeniero Ayala, proyectista y constructor de esa obra, describió aspectos de su proyecto. En el cálculo se guió por el método expuesto en el texto *Reinforced Concrete Construction*, de George A. Hool, Tomo III.

En dos de sus apoyos, la estructura transmitía sus cargas al terreno por medio de anchos pedestales y zapatas de concreto; en su base se dispuso una plancha de acero de 25 cm de espesor. El resto de los apoyos, de configuración similar, transmitían sus cargas al terreno por conjuntos de *'pilotes de madera de corazón'* hincados en el fondo del río; el proceso de hincado de estos pilotes se realizó por medio de un martinete de 600 kgf y 3 m de caída libre.

En enero de 1934, el ingeniero Hernán Ayala Duarte leyó en el CIV una exposición sobre el *Puente Gómez y Avenida del Trabajo*, obra que ordenó el MOP en diciembre de 1932 (Ayala Duarte H., 1934). Se refiere allí a la similitud de las soluciones adoptadas con los puentes Ayacucho, párrafo anterior, y de Sucre (**Nota 12**).

V.5.8.- Pilas de Puentes de las Líneas Férreas

Iniciado el gobierno de Guzmán Blanco, este planificó una amplia expansión de los ferrocarriles en el país con la firma de 92 contratos que cubrían rutas por un total de más de 5.000 kilómetros a ser construidas en un período de 8 años. De ellos solo se tendieron 879 km (Harwich, 1997). El material predominante en las pilas para puentes de las líneas férreas que se ejecutaron durante el siglo XIX, y posteriormente en puentes y pontones, fue el concreto armado.

V.5.9.- Síntesis de los Antecedents del uso del Concreto y su Control

En la **Tabla V.4** se da información sobre obras construidas y/o proyectadas entre 1880 y 1945, en las cuales se empleó el concreto en Venezuela. Hacia 1949 en Caracas ya se habían construido varios edificios altos. El 31 de diciembre de ese año y ajustado al plan urbanístico de Maurice Rotival, se inició la construcción de la Avenida Bolívar, así como las Torres del Centro Simón Bolívar. Proyecto de Cipriano Domínguez (1904-1995), los ingenieros proyectistas de estas torres gemelas de 30 pisos de estructura metálica y la gran plaza entre ambas, fueron los ingenieros Juan Francisco Otaola y José Sanabria. La ejecución culminó el año 1954-55.

TABLA V.4
UNA MUESTRA DE LAS PRIMERAS
OBRAS DE CONCRETO EN VENEZUELA (1880 - 1945)

Obra	Año	Breve Descripción y Particularidades
Cloacas y Alcantarillas de Caracas	1880	Proyecto para un sistema de cloacas de Caracas, con bóvedas de hormigón, según propuesta de un Ingeniero Italiano. No se llegó a construir (Arcila, 1961, II, p. 435).
Pilas de puentes	Hacia 1985	Se citan en la literatura puentes de las líneas férreas apoyados en pilas de concreto
Rompeolas de 625 m de largo en el puerto de La Guaira	1885	Iniciado en diciembre de 1885, la <i>'piedra fundamental'</i> fue un bloque de 140 toneladas que llevaba una caja de concreto con documentos y monedas de la época. Para las fundaciones se usaron grandes sacos de concreto, así como en el arrecife; estos últimos con un peso de 160 ton cada uno. La coronación del rompeolas se hizo de concreto ciclópeo (Nouel, 1991, p. 25).
Muros de Retención en la carretera La Victoria a Mariara	1893	Entre Guayas y La Victoria se recomendó la construcción de 2 muros de retención de concreto (Arcila, 1961, II, p.105).
Muelle de Puerto Cabello de 450 m de	1895	Sustitución de pilotes madera, por otros metálicos tubulares rellenos y protegidos por medio de 'cemento o de concreto'. La resistencia de cálculo para el concreto fue de 9 kgf/cm ² siete días después de vaciado. El hincado de los pilotes se hizo con martinetes de 1200 libras que caían 3 m (Arcila, 1961, Tom.

longitud		II, Fig. 47 y p 341).
Barra de Maracaibo	1900	Propuesta de Muñoz Tébar para la construcción de diques con revestimiento de bloques de concreto; se fabricarían con piedras de traídas de la ‘isla de Toas’ (Muñoz Tébar, 1911).
Puerto de Tucacas	1905	‘El edificio era todo de concreto con armadura de madera de corazón’. El piso lleva una capa de concreto de 1.20 m de espesor, ‘reforzada con rieles colocados horizontalmente dentro de la masa de concreto’ (Arcila 1961, II, p 351)
Puente en Caracas	1909	La Fig. 19-2 (Arcila 1961, II, p 126) reproduce el puente de concreto armado, para el paso de una acequia en ‘El Portachuelo’, Caracas.
Puentes en la carretera Caracas-La Guaira	1909 a 1912	La circulación de vehículos automotores requerían mejoras en la vieja carretera: alcantarillas de concreto ‘con piedras incrustadas’; tubos de cemento; puentes de concreto armado sobre perfiles de hierro (Arcila, 1961, II, p 35)
Edificio del Archivo General de la Nación	1912	Es citado como primer edificio de más de 2 plantas construido en concreto armado. Por falta de información sobre las constantes del cemento’, no se permitió exceder 11 kgf/cm ² ; en las losas reforzadas se alcanzaron 28 kgf/cm ² (<i>Revista Técnica del MOP</i> , N°3, 1911, p 130).
Puente en Falcón	1918	Pequeño puente de concreto armado construido en la carretera Coro – Cumarebo (Fig. 21-2, Arcila 1961, II, p 128)
Nuevo Circo de Caracas	1919	El 26 de enero de 1919 se inauguro el Nuevo Circo de Caracas, obra de Alejandro Chataing. Construido en concreto armado, con capacidad para 12 mil espectadores, la atracción fue tan grande que la Compañía de Tranvías Eléctricos de Caracas, instaló una línea hasta el Nuevo Circo.
Puente en arco sobre el río Guaire, Caracas	1924	El 9 de diciembre de 1924 se inauguró el primer puente en arco de grandes vanos, hecho en concreto armado: el puente Ayacucho. Se trata de un puente de tres arcos de concreto armado: uno central de 30 m de luz y dos laterales de 15 m, con lo cual alcanza una longitud total de 60 m. El esfuerzo máximo en el concreto estuvo limitado a 40 kgf/cm ² (Ayala Duarte H., 1925).
Puerto de Maracaibo	1927	En los muelles se emplearon grandes pilotes (¿de concreto?) de 10 a 14 m de longitud, hincados con martinetes. Construido por Raymond Concrete Pile Co.
Malecón de concreto armado en la Bahía de Turiamo	< 1934	Bajo la responsabilidad del ingeniero Francisco J. Sucre, es la primera obra en la cual se controló la calidad del concreto; se emplearon las Normas ASTM ‘utilizando equipos modernos’ (Sucre, 1934).
Puente en arco sobre el río Guaire, Caracas	1934	El ingeniero Hernán Ayala Duarte leyó en el CIV una exposición sobre el <i>Puente Gómez y Avenida del Trabajo</i> , construido sobre el río Guaire. Se refiere allí a la similitud de la solución adoptada con el puente construido en 1924 sobre el mismo río. ¿Ubicación?/
Nueva Ciudad Universitaria en Caracas	1940	Con la construcción del Hospital Clínico, en 1940 se inició la ejecución del proyecto hecho por el Arquitecto Carlos Raúl Villanueva. Ocupando una extensión de algo más de 200 hectáreas, integró un conjunto cercano a 70 edificaciones; entre ellas destacan: el edificio del Rectorado y Administración; la Biblioteca; el Aula Magna; la Sala de Conciertos; los Estadios Olímpico y de Base-ball; las Facultades de Arquitectura y Odontología. Su construcción se encontraba avanzada para el año 1954 y puede considerarse culminada en 1956.
Reurbanización de El Silencio en Caracas	1942 a 1945	En la reurbanización de El Silencio se establecieron requerimientos para la resistencia a la compresión del concreto: 115 kgf/cm ² a los 7 días y 150 kgf/cm ² a los 28 días en el sector central del Bloque N°1. En otros sectores se exigieron resistencias algo menores (De Sola, 1988, p. 103)

En las estructuras de la reurbanización de El Silencio, la resistencia a la compresión del concreto fue controlada por medio de cilindros estándar, ensayados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales del MOP.

En la **Figura xx** se reproducen los resultados correspondientes al Bloque N°1, en tres de sus Sectores (**Nota 12a**). La figura reproduce los resultados de 36 semanas continuas; los meses indicados van de marzo a noviembre, sin indicación del año (la Figura xx es de De Sola, 1988, p 103). Aún cuando no se indica en la figura, parte del concreto vaciado en ese

Bloque fue concreto bombeado; según De Sola (1988, p. 250) se empleó la primera bomba para concreto traída al país.

V.6.- CONTRIBUCIONES TÉCNICAS

Desde comienzos del siglo pasado se conocen contribuciones técnicas de autoría venezolana dirigidas a construcciones más seguras, algunas de las cuales empleando el 'cemento armado', como se conocía en esa época, y otras dirigidas a obras de infraestructura hechas por el Ministerio de Obras Públicas. En su Sala de Cálculo se elaboraron las primeras normas técnicas del país a finales de los años 30.

V.6.1.- Recomendaciones Constructivas

Recomendaciones constructivas para lograr edificaciones más seguras, incluidas algunas a ser aplicadas en zonas sísmicas, se dieron en diversos trabajos publicados en Venezuela; entre los más conocidos destacan las contribuciones de: Herrera Tovar (1923a; 1923b); Vizcarrondo (1934); Urbaneja (1936); Centeno Graü (1940b); Kulik (1947). Debe incluirse entre estos, la tesis que presentó el ingeniero Juan Francisco Stolk en la Facultad de Ingeniería de la UCV con recomendaciones sobre como armar la mampostería para resistir sismos. (Stolk, 1932); una síntesis sobre el contenido de esta tesis puede consultarse en Grases (1987, p. 41 y 43) (**Nota 13**).

V.6.2.- El Concreto Reforzado

Sobre el diseño y medidas preventivas a seguir en el manejo y elaboración del concreto armado, entre los trabajos pioneros deben citarse: (i) las normas constructivas que estableció el Ministro de Obras Públicas (MOP, 1913) y el método propuesto por (Sucre, 1930) para el diseño de mezclas de concreto de resistencia prefijada; (ii) el diseño de vigas Centeno Graü (1920), columnas y fundaciones (Olivares, 1930 y 1937); (iii) las propiedades del cemento y el diseño de losas de Herrera Tovar (1923a y 1923b); (iv.) el empleo de cabillas de sección cuadrada de Bello Caballero (1923); (v) las descripciones y problemas durante la construcción de los primeros puentes de concreto en Caracas de Hernán Ayala D. (Ayala D., H., 1925 y 1934) y de puentes rígidos de concreto analizados por métodos simplificados (Sanabria 1934; León y Sanabria, 1935), así como las sobrecargas de diseño en puentes de Olivares (1935a y 1935b); (vi) la solución práctica sobre temas de diseño y ejecución en concreto reforzado (Ayala D., C., 1932a; 1932b; 1934); (vii) los ábacos y tablas para el diseño de tubos de concreto (León, 1932 y 1938).

V.6.3.- El Concreto Premezclado

El ingeniero Rafael Héreter A., es considerado como uno de los pioneros en el país en la industria suplidora de concreto premezclado. Fundó, antes de 1948, la empresa Mixto-Listo C.A. en unos terrenos cercanos a Antímano y en 1948 se fusionó con la Compañía Mezcladora C.A., de la cual nació la empresa Mezcladora Mixto Listo Consolidada C.A.

Durante un tiempo el ingeniero Héreter –originario de Puerto Rico- se ausentó del país y, en 1956, regresó y fundó Pre-Mex. Ubicada en una amplia extensión en la Urbanización Lebrun, área

V.7.- CARACTERÍSTICAS Y CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

Son muchas las características del concreto que se aprovechan en las estructuras hechas con este material. Entre estas, destacan las dos siguientes: la primera es la capacidad de amoldarse a formas muy diversas; para ello se controla la consistencia o grado de fluidez del material en estado fresco o de prefragua, la cual se conoce también como manejabilidad,

trabajabilidad o asentamiento, y; la segunda, es el grado de endurecimiento o resistencia que es capaz de adquirir el concreto.

La primera, el grado de fluidez, suele medirse con ensayos que evalúan la plasticidad de la mezcla. La segunda, su resistencia, se determina por medio de ensayos mecánicos de compresión o tracción sobre probetas normalizadas. Con los resultados a la compresión el tecnólogo puede hacer estimaciones sobre la resistencia a otros tipos de tensiones, tales como: la flexión, el corte o la tracción. En casos necesarios estas características, así como la deformabilidad bajo carga o módulo de elasticidad, también pueden determinarse directamente.

En 1934 el ingeniero Francisco J. Sucre describió con cierto detalle una de las primeras obras de concreto en la cual se aplicaron criterios de control de calidad. Para ello se siguieron las Normas ASTM (Sucre, 1934); hasta esa fecha se venían empleando normas y especificaciones establecidas en el MOP por el ingeniero Manuel F. Herrera Tovar (<1938) (**Nota 14**). Además de aplicar modernos criterios de dosificación del cemento basados en la ley de Abrams, en la compactación del concreto se emplearon, aparentemente por vez primera, los vibradores de aguja (Sucre, 1934). Los ensayos a la compresión se efectuaron en un equipo portátil que suministró la empresa norteamericana contratista que ejecutó la obra de Turiamo.

Actualmente, los requerimientos normativos sobre la calidad que deben satisfacer los materiales a ser empleados en obras de concreto reforzado se establecen en el Capítulo 3 de la Norma COVENIN 1753 (FONDONORMA 2006). Información detallada sobre los problemas tecnológicos del concreto –tanto en su estado de pre-fragua como endurecido- pueden consultarse en Porrero et al., 2004; este texto es resultado de un conjunto de ediciones sobre el tema iniciadas en 1976 y progresivamente ampliadas.

V.7.1.- Tipos de Concreto

El concreto es un material con una amplia gama de posibilidades, bien sea por el uso de diferentes componentes o por la distinta proporción de ellos. De este modo es posible obtener diversas plasticidades, resistencias y apariencias, logrando así, satisfacer los particulares requerimientos de la construcción. Esa versatilidad es una de las razones que permite explicar la creciente expansión del uso del material.

En Venezuela, el concreto se usó y se sigue empleando profusamente en elementos estructurales de edificaciones tales como: columnas, vigas, losas, cerramientos, muros,

pantallas, así como en pavimentos, pistas aéreas, zonas de estacionamiento, represas, acueductos, canales, túneles, taludes, adoquines, tanques, reservorios, muelles, defensas marinas, sistemas de fundación, muros para estabilizar taludes y otros múltiples usos.

Los agregados pueden ser trozos de roca de gran tamaño, como en el caso de represas o estribos de puentes, o de pequeño tamaño, para los morteros. Pueden ser especialmente pesados e incluso livianos. La consistencia del concreto puede ser muy seca, como en el caso de los elementos prefabricados, o puede lograrse muy fluida, como se recomienda para elementos de poca sección y mucha armadura. Sus resistencias mecánicas pueden ser de niveles muy variados, de acuerdo con las necesidades. En la **Figura V.2** se agrupan rangos de resistencias a la compresión, representativos de diferentes denominaciones frecuentemente empleadas en la tecnología o uso del concreto.

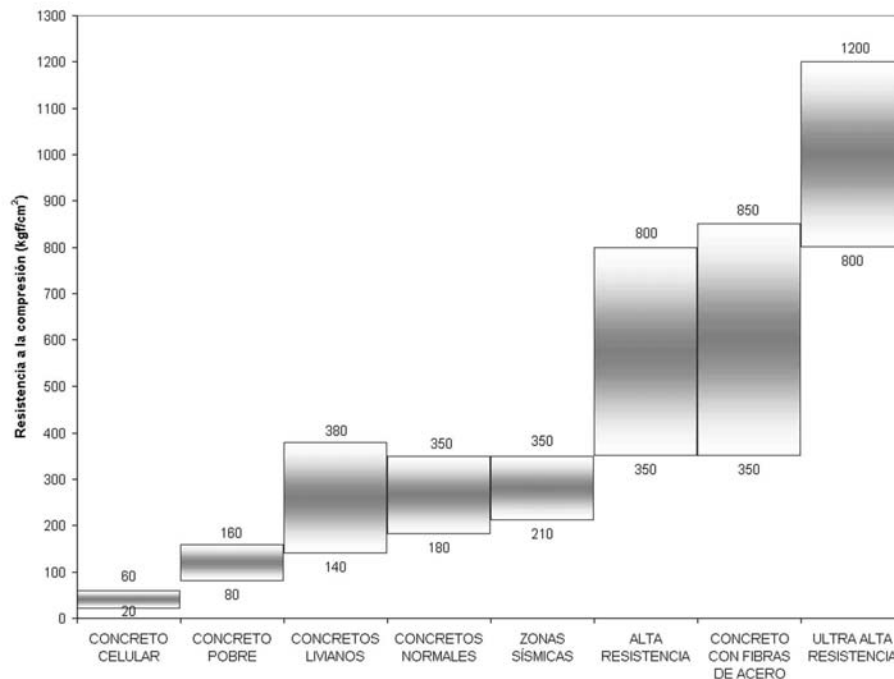


Figura V.2
Rangos Aproximados de Resistencias a la Compresión de Diferentes Tipos de Concreto (Fuente: Porrero et al., 2004)

V.7.2.- Normas y Especificaciones

La evolución de las exigencias sobre la calidad del concreto para miembros de concreto armado, se refleja en la evolución de las normativas a lo largo de los últimos 70 años. Sigue una narración cronológica sobre los principales documentos que hemos utilizado los Ingenieros Estructurales en Venezuela.

El primer documento donde se establecieron especificaciones sobre la tecnología del concreto, fue el exigido por el Ministerio de Obras Públicas para la construcción de la carreta Caracas-La Guaira (MOP, 1913); este no ha podido ser consultado. En Porrero et al (2004) hay una sección de antecedentes en Venezuela. A ellos debe añadirse los primeros trabajos que sobre ese nuevo material se publicaron en el país, los cuales se dieron en la **Sección V.6** de este **Capítulo**.

V.7.3.- Las Primeras Normas del MOP

En las Normas de Construcción del MOP (MOP, 1938) se establecieron requisitos de calidad del concreto para edificaciones. Con el tiempo, estas se ajustaron al mejor conocimiento de ese material y a los criterios de diseño de miembros portantes de concreto reforzado y concreto simple. En 1939 el MOP organizó las primeras Normas para el Cálculo de Edificios; en ese documento se acordaron criterios generales cuya función fue la de uniformar los criterios empleados por los profesionales proyectistas al servicio de ese Ministerio (MOP 1939).

V.7.4.- Las Normas MOP 1945 y 1955

En las Normas para la Construcción de Edificios, MOP 1945, el Capítulo 2 se dedicó a Obras de Concreto Armado y el Capítulo 3 a Obras de Concreto Ordinario (MOP, 1945). Es considerado como el primer texto en el cual se dieron criterios para la elaboración de concretos destinados a diferentes usos, en ambientes con particularidades que requerían medidas preventivas en la elaboración y control de ese material. Se exigió allí lo siguiente: *‘La resistencia mínima del concreto será la que se indique en los planos o especificaciones, para la carga de ruptura a la compresión a los 28 días’*.

En su Artículo 3 se consideraron dos tipos de concreto: el Tipo A (300 kgf de cemento/m³ de concreto) y el Tipo B (250 kgf de cemento/m³ de concreto). Como resistencia promedio del Tipo A a los 28 días de edad: *“...no se admitirá una carga de ruptura menor de 100 kgf/cm² a los 28 días para el promedio de los cilindros ensayados, ni inferior a 80 kgf/cm² para uno cualquiera de ellos...”*. Para concretos del Tipo B, los respectivos valores eran 80 kgf/cm² y 60 kgf/cm². En el caso de obras marítimas, se exigía un contenido de 450 kgf de cemento/m³ de concreto, siempre que el material tuviese que fraguar cubierto por el agua de mar y 340 kgf de cemento/m³ de concreto para *“...los que hayan de fraguar en seco para después ser puestos en el agua”*.

En esa misma Norma, para los materiales de alfarería (ladrillos macizos) se distinguieron dos clases: la Clase A con *‘carga de ruptura a la compresión’* promedio de por lo menos 140 kgf/cm² sin que ninguno sea inferior a 80 kgf/cm² y la Clase B donde los respectivos valores fueron: 90 kgf/cm² y 50 kgf/cm².

Los dos párrafos anteriores revelan que los profesionales que redactaron ese documento normativo ya tenían claro el concepto de la naturaleza no determinista de las propiedades mecánicas de esos materiales de construcción.

En 1955 se aprobó la Norma para el cálculo de edificios, basada en los esfuerzos admisibles del concreto. En el Artículo 4 de ese nuevo documento se ajustaron algunos de los coeficientes de trabajo establecidos en las Normas MOP de 1945 y 1947, manteniendo un formato similar.

V.7.5.- Contribución del CEB

En la década de los años 60, el Comité Europeo del Concreto (CEB) desarrolló una intensa actividad de intercambio entre los países de ese continente. En la especialidad del concreto, destacó el trabajo del profesor Hubert Rüschi y sus colaboradores, miembros del Materialprüfungs Amt de la Escuela Técnica de Munich (Rüschi et. al., 1969). Estos publicaron los resultados de la evaluación de 499 análisis estadísticos de concreto (**Nota 15**), provenientes de diferentes países; esa muestra abarcó resistencias medias (x_m) entre 150 y 800 kgf/cm². La correlación propuesta por los citados autores entre x_m y la desviación estándar (σ), resultó ser:

$$\sigma = [0.0197 + 319 / (x_m)^2]^{-1} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (\text{V.1})$$

Obsérvese que para valores de x_m entre 150 y 300 kgf/cm², el valor de σ varía entre 29 y 43 kgf/cm²; para valores de x_m entre 300 y 800 kgf/cm², la desviación estándar σ solo aumenta de 43 kgf/cm² a 49 kgf/cm².

El profesor Rüsck propuso en ese entonces el empleo de valores constantes de σ en función de 4 niveles de control de calidad, idea esta que posteriormente fue adoptada en algunas normativas, entre las cuales la Norma COVENIN 1753:2006 vigente (FONDONORMA, 2006).

V.7.6.- Diseño de Mezclas de Concreto. Método IMME

En la División de Estudio y Ensayo de Materiales del IMME, UCV, se empleó un método original para diseñar mezclas de concreto función de la resistencia deseada. Para esas fechas ya era conocido el concepto de resistencia característica; por tanto, en ese procedimiento la resistencia media a usar en el diseño de la mezcla se estableció igual a $K_1 x f'_c$, donde f'_c era la resistencia del proyecto (Grases, 1964).

Los valores de ese factor de mayoración K_1 se establecieron con arreglo a los criterios que se dan en la **Tabla V.5**.

TABLA V.5
Valores del Coeficiente K_1

TIPO DE CONTROL	K_1
Estricto: dosificación por peso, control metódico de humedad y granulometrías	1.15
Deficiente: dosificación por volumen, ningún control de humedad y granulometrías	1.30

V.7.7.- La Norma MOP de 1967

Este documento fue propuesto por el Comité Conjunto del Concreto Armado (CCCA) con arreglo a ponencia del profesor Alfredo Páez Bálaca. Este introdujo el concepto de 'resistencia característica' a la compresión $f'_{c,k}$, la cual quedó definida en ese documento como: el promedio de los $n/2$ resultados más bajos; en caso de ser n un número impar, se prescindía del termino mediano una vez los resultados se hubiesen ordenado de menor a mayor. Según se indicó en el texto del CCCA, el criterio adoptado: "...obedece a la necesidad de penalizar los concretos que, por su poca homogénea calidad, presentan una fuerte dispersión en sus resultados...". La resistencia característica $f'_{c,k}$, así obtenida, debía exceder el valor f'_c empleado en el proyecto (MOP, 1967a).

V.7.8.- La Norma COVENIN-MINDUR 1753, Versión 1981

En esa primera versión de la Norma COVENIN 1753 se estableció que: si la desviación estándar (σ_0) estaba sustentada al menos por 30 ensayos, ninguno de los cuales tuviese valores inferiores a f'_c en más de 70 kg/cm^2 , la resistencia media mínima requerida (F_{cr}) debía cumplir lo siguiente:

$$F_{cr} \geq f'_c + 1.6 \sigma_0 \quad (\text{V.2})$$

En caso de que σ_0 excediese 40 kgf/cm^2 , aplicaba el siguiente criterio:

$$F_{cr} \geq f'_c + 85 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{V.3})$$

El requisito establecido por la fórmula (V.2) podía obviarse cuando se cumpliesen las tres condiciones siguientes:

- i.- La probabilidad de obtener resistencias inferiores a $f'_c - 35 \text{ kgf/cm}^2$ no excediesen 0.01 (1 en 100)
- ii.- La probabilidad de que la media de los resultados de tres ensayos consecutivos fuese menor que f'_c , no excediese 1 en 100.
- iii.- Para exposiciones a condiciones especiales se cumpliesen los dos requisitos siguientes: (i) $a/c < 0.50$; (ii) $f'_c \geq 250 \text{ kgf/cm}^2$.

V.7.9- Norma COVENIN-MINDUR 1753, Versión 1985

En la actualización de este documento, se indicó que el sustento del valor de la desviación estándar (σ_0) fuese el resultado de al menos 30 ensayos; en ese caso se permitía emplear el mayor de los dos siguientes valores de F_{cr} :

$$F_{cr} = f'_c + 1.34 \sigma_0 \quad (\text{V.4})$$

$$F_{cr} = f'_c + 2.33 \sigma_0 - 35 \quad (\text{V.5})$$

donde F_{cr} representa la resistencia media requerida.

Si el número de ensayos fuese menor de 15, el cálculo de σ_0 según ese documento no se consideraba confiable. De ser así, la selección de la resistencia media mínima F_{cr} se regiría por la **Tabla V.6**.

TABLA V.6
Valor Medio Mínimo de Diseño de la Resistencia del Concreto (F_{cr})
según la Norma COVENIN-MINDUR 1753, versión 1985

f'_c (kgf/cm ²)	F_{cr} (kgf/cm ²)
< 200	$\geq f'_c + 70$
de 200 a 350	$\geq f'_c + 85$
>350	$\geq f'_c + 100$

Cuando el registro de ensayos consecutivos variase entre 15 y 30 en un período no mayor de 45 días, se podía estimar σ_0 a partir del registro disponible con el factor de mayoración que se da en **Tabla V.7**.

TABLA V.7
Factor de Mayoración de σ_0

Número de Ensayos	Factor de Mayoración de σ_0 ⁽¹⁾
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 ó más	1.00

(1) Se permite la interpolación lineal entre valores consecutivos.

Obsérvese que en los criterios anteriores, adoptados también por otros documentos normativos, tuvieron marcada influencia los resultados de los estudios emprendidos por el profesor Rüsck del Laboratorio de Munich, citados en la **Sección V.7.5**.

V.7.10.- FONDONORMA, Versión 2006

En este documento de la Norma COVENIN 1753, vigente en 2011, los requerimientos de resistencia son esencialmente similares a la versión del año 1985. Las ecuaciones (V.4) y (V.5) siguen siendo válidas si $f'_c \leq 350$ kgf/cm²; se añade el caso donde $f'_c > 350$ kgf/cm² para el cual aplica el más desfavorable de los requisitos de las fórmulas de las siguientes fórmulas (V.4) y (V.6).

$$F_{cr} = f'_c + 1.34 \sigma_0 \quad (\text{V.4})$$

$$F_{cr} = 0.9 f'_c + 2.33 \sigma_0 \quad (\text{V.6})$$

Obsérvese que la fórmula (V.5) resulta igual a la (V.6) para $f'_c = 350$ kgf/cm².

Para el caso donde el número de ensayos fuese inferior que 15, la **Tabla V.6** se expande en función del control de calidad, tal como lo había propuesto el profesor Rüsck et al. en 1969, en la forma que se da en la **Tabla V.8**.

TABLA V.8
Valor Medio Mínimo de Diseño de la
Resistencia del Concreto (F_{cr}) (número de ensayos inferior a 15)

Para f'_c (kgf/cm ²)	F_{cr} (kgf/cm ²)		
	Control Excelente	Control Aceptable	Sin Control de Calidad
< 210	$f'_c + 45$	$f'_c + 80$	$f'_c + 130$
210 a 350	$f'_c + 60$	$f'_c + 95$	$f'_c + 170$
≥ 350	$f'_c + 75$	$f'_c + 110$	$f'_c + 210$

V.7.11.- Conclusiones

De acuerdo con la revisión que se ha presentado en esta **Sección V.7** sobre la evolución de nuestras normas en lo que al control de la calidad del concreto se refiere, destacan tres observaciones:

- i.- Desde el primer documento normativo reseñado (MOP 1947), si bien se hacía referencia al valor de la resistencia media, se establecía al menos un límite inferior relacionado a posibles valores inferiores a la media; esto condicionaba el valor de diseño. Es decir, se reconocía la naturaleza incierta de la resistencia del concreto.
- ii.- La evaluación de estadísticas presentada por Rüsçh et al. (1969) reveló que, supuesta una distribución normal, la media de las desviaciones estándar de concretos con resistencias medias entre 280 kgf/cm² y 800 kgf/cm², podía ser cuantificada y no alcanzaba valores en exceso de unos 50 kgf/cm².
- iii.- La incorporación en las Normas modernas de los criterios de diseño basados en los estados últimos o de agotamiento, vino acompañada por el reconocimiento explícito de las incertidumbres en la resistencia a la compresión del concreto.

V.7.11.- Conclusiones

V.8.- NORMAS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

En la **Sección V.7** se trató el tema de la resistencia del concreto y el reconocimiento de sus incertidumbres. A continuación una breve revisión de los documentos que han condicionado el diseño de estructuras de concreto reforzado, incluida la selección de los coeficientes de trabajo.

V.8.1.- La Propuesta de Julián De La Rosa y Oscar Urreiztieta el año 1953

El año 1947 el MOP aprobó las Normas para el Cálculo de Edificios, documento en el cual la calidad del concreto se encontraba referida a las ya citadas Normas para la Construcción del año 1945.

Tres años después, en agosto de 1950, sucedió el terremoto de El Tocuyo, evento este que dio lugar a trabajos de campo auspiciados por el Colegio de Ingenieros de Venezuela. Si bien el desempeño de escuelas y otras edificaciones de concreto armado fue aceptable, en El Tocuyo y poblaciones adyacentes construcciones de concreto armado sufrieron daños. Este evento dejó cierta inquietud entre algunos Ingenieros Estructurales.

Tal inquietud se reflejó en la propuesta que hicieron los ingenieros Julián de La Rosa y Oscar Urreiztieta, el año 1953. Esta fue publicada en varias entregas de la *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela (CIV)*. Contenía una muy completa propuesta de *Normas para el uso de Concreto Armado* dirigida a los trabajos de proyectos así como de revisiones de la Dirección de Obras Municipales del D.F., División de Control de Construcciones (De la Rosa y Urreiztieta, 1953) (**Nota 16**). La Nota introductoria de la Parte I (Capítulo I - V), se publicó en el N° 206 de la *Revista del CIV*, mayo 1953, p. 9-17 y está firmada por los citados ingenieros: Julián E. de la Rosa y Oscar A. Urreiztieta. La Parte II (Capítulo VI - X), apareció en el N° 207, junio 1953, p. 4-17. El Capítulo VI incluyó dos Secciones relacionadas a la acción sísmica: 606: *Acción de los movimientos sísmicos*; y 607: *Fuerzas sísmicas mínimas*

para otras estructuras. La Parte III (Capítulos XI – XIII) se publicó en el N° 208 de la *Revista del CIV*, p. 4-11.

Con relación a la calidad del concreto, en la Tabla 1 del citado documento se establecieron los esfuerzos admisibles para 16 condiciones y/o solicitaciones diferentes; el más alto, $0.45 f'_c$, correspondía al esfuerzo en la fibra extrema a compresión en un elemento sometido a la flexión, donde el valor de f'_c es: “---la carga de rotura mínima del concreto a los 28 días de edad---”. No se hizo alusión allí a la posible dispersión de la calidad del concreto.

V.8.2.- La Norma MOP de 1955

La propuesta descrita en la **Sección V.8.1** no tuvo mayor trascendencia. En 1955 la Comisión de Normas del MOP modernizó la norma para el cálculo de edificios, aún cuando no trató aspectos propios del control de calidad de los concretos (**Nota 17**). Los coeficientes de trabajo máximos permitidos, se refirieron a: “...la carga unitaria de ruptura por compresión del concreto en cilindros de prueba normal de 6” x 12” (15.24 x 30.48) a los 28 días...”; en caso de adoptar cubos de 20 cm de lado para las pruebas, los coeficientes de trabajo se valoraban admitiendo que la resistencia de los cilindros era 0.80 de la de los cubos (MOP, 1955).

“En el caso de que no se hagan ensayos del concreto, para la fijación de los coeficientes se admitirá una carga de ruptura por compresión cilíndrica a los 28 días no mayor de 100 kgf/cm²”. Ya para esas fechas, el valor de la resistencia media del concreto en algunos documentos de países con tecnologías más avanzadas, fue de 3000 psi; o sea 210 kgf/cm². Obsérvese que los 100 kgf/cm² son muy cercanos al 45% de esa resistencia media.

V.8.3.- La Norma para Diseño de Concreto Armado, MOP de 1967

La Comisión de Normas del MOP publicó en junio de 1967 las *Normas para el Cálculo de Estructuras de Concreto Armado para Edificio. Teoría Clásica*. Este documento fue el resultado de una ponencia preparada por el profesor Alfredo Páez Balaca para el Comité Conjunto del Concreto Armado (CCCA) y analizada posteriormente por la citada comisión del MOP.

En la resolución que sobre ese documento firmó el Ministro para ese momento, ingeniero Leopoldo Sucre Figarella, se indicó lo siguiente: “Las Normas a que se refiere esta Resolución han sido preparadas para ser empleadas en las construcciones de este Despacho, pero su observancia no exime de responsabilidad profesional”. Se advierte en la Introducción suscrita por la Comisión de Normas del MOP que: “...la correcta aplicación de estas normas, hará el cálculo de estructuras más laborioso...Esta circunstancia será cierta hasta que se elaboren tablas para el cálculo o se confeccionen otras ayudas como ábacos, etc. Sobre esta materia, la Comisión considera la puesta al día del ‘Manual para el Cálculo de Edificios’...la Comisión cree conveniente publicarla la nueva normal sin carácter preceptivo obligatorio...pero recomendando su empleo a título de orientación...” (MOP, 1967a).

A la cautela anterior, debe añadirse que en la contratapa de ese libro se da la lista de publicaciones del CCCA. Entre ellas se anuncia: *Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Concreto Armado. Teoría de los Estados Límites*, obra que no llegó a ser publicada.

V.8.4.- El Terremoto Cuatricentenario y la Norma Sísmica Provisional del MOP

Un mes después de la Resolución acotada en la sección anterior, el 29 de julio de 1967 sucedió el terremoto de Caracas. Independientemente de las limitaciones propias que la norma vigente para ese momento establecía para el cálculo de las acciones sísmicas, el desempeño de múltiples estructuras de concreto armado reveló problemas propios del detallado de los refuerzos metálicos que merecían atención inmediata.

Este aspecto fue abordado en la *Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas* del MOP en la cual destacan dos tópicos fundamentales: (i) se modificaron los

criterios para el cálculo de las solicitaciones sísmicas; (ii) se establecieron recomendaciones específicas sobre el detallado del refuerzo (MOP, 1967b). Con todo, en su presentación, se advirtió que: *‘El buen éxito de una obra depende, especialmente en este caso, de la experiencia y criterio del autor, así como la atención y cuidado que preste a todos los detalles tanto del proyecto como de la ejecución’*.

De modo que hasta la aprobación de la correspondiente norma COVENIN vigente - FONDONORMA 2006-, la normativa que controló el detallado de estructuras de concreto reforzado esencialmente se rigió por criterios que se fueron modificando en el tiempo hasta llegar a los actuales.

V.8.5.- Primeras Normas Sustentadas en los Estados Últimos

En febrero de 1979, la Comisión de Normas de la Dirección de Equipamiento del Ministerio del Desarrollo Urbano (MINDUR) publicó los primeros ocho capítulos de: *Normas de Concreto Armado para Edificios. Método de Rotura. Articulado y Comentarios*; Primera parte. Estos capítulos se fundamentaron en las Normas ACI 318-77: *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*, con las modificaciones que se consideraron necesarias para adaptarlas a nuestro medio.

Esta propuesta, elaborada por el ingeniero Eugenio Pollner, fue de distribución gratuita. Puede considerarse sucedáneo de la proposición anunciada años antes por el CCCA y que no alcanzó a materializarse. Dos años después este documento pasó a formar parte de la Norma COVENIN 1753-81, cuya propuesta final también estuvo bajo la responsabilidad del ingeniero Pollner.

V.8.6.- Primera Norma COVENIN-MINDUR 1753 de Concreto Armado

En el mes de mayo de 1981, la Comisión de Normas de Estructuras para Edificaciones de MINDUR presentó las *Normas de Concreto Armado para Edificios; Método de Rotura* que consta de Articulado y Comentarios. Este documento se basó en las Normas ACI 318-77: *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*, con las modificaciones necesarias para adaptarlas a nuestro medio. La preparación de la propuesta de estudio fue responsabilidad del ingeniero Eugenio Pollner. Se siguió en esta nueva norma, el mismo esquema de la Norma del año 1967, Articulado y Comentarios, en este caso en volúmenes separados.

Se advirtió en la Introducción de ese documento que la filosofía de las normas es: *“...congruente con la de otras que actualmente discute la Comisión”*. Entre ellas se cita las Normas para Edificaciones Antisísmicas, en las cuales se consideraba establecer prescripciones de diseño para asegurar la respuesta en el rango inelástico, motivo por el cual el diseño debe ser hecho a nivel de rotura. También se señaló en dicha Introducción que, hasta tanto esas normas no fuesen de uso obligatorio, la utilización de las Normas MOP, Teoría Clásica, del año 1967 era permitida, pero debían emplearse conjuntamente con la Norma Provisional del MOP para Construcciones Antisísmicas del año 1967 (**Nota 18**).

Para las fechas de aprobación de esa versión del año 1981, designada como Norma COVENIN 1753, en el marco de la futura Norma COVENIN 1756 ya se encontraba en vías de aprobación una original idea, posteriormente adoptada por el ACI, que son los denominados *Niveles de Diseño*. En el caso particular del Nivel de Diseño 3, máxima ductilidad y capacidad de disipación de energía en la estructura, se aceptaba en la versión COVENIN 1753 del año 1981, el empleo del denominado *Apéndice A* del ACI 318 en su última versión; esto, hasta tanto la Comisión de Normas MINDUR elaborase esas prescripciones que, desde un comienzo, se sabía constituirían el futuro y faltante Capítulo 18.

V.8.7.- Prescripciones Especiales para el Diseño de Elementos Estructurales de Edificaciones Antisísmicas

Culminada y aprobada el año 1982 la Norma COVENIN 1756, *Edificaciones Antisísmicas*, la tarea de elaborar las prescripciones especiales para los tres Niveles de Diseño, el denominado Capítulo 18 de la Norma COVENIN 1753, fue encomendada a una

subcomisión conformada por los ingenieros: Cesar Hernández Acosta, Arnaldo Gutiérrez y José Grases, subcomisión coordinada por el primero de ellos. Esta analizó documentos opcionales y, a finales de 1984, sometió la correspondiente propuesta a la consideración de la Comisión de Normas del MINDUR.

Una vez aprobado el Capítulo 18, se hizo pública la versión definitiva de las Normas COVENIN 1753 titulada: *Estructuras de Concreto Armado para Edificios. Análisis y Diseño* del año 1985. Posteriormente ese documento fue revisado y adecuado, hasta la versión vigente titulada: *Estructuras de Concreto Reforzado para edificaciones. Análisis y Diseño* (FONDONORMA, 2006).

V.9.- MANUALES PARA EL CÁLCULO

Con los documentos normativos recién reseñados, se abrió la posibilidad de modernizar el viejo Manual de Cálculo del MOP cuya primera edición fue del año 1942 (MOP, 1942). Con las dos contribuciones que se describen a continuación, se materializó la puesta al día anunciada en la **Sección V.8.3**, todo ello ajustado a los criterios y procedimientos aprobados como Normas COVENIN.

V.9.1.- Manual para el Cálculo de Columnas de Concreto Reforzado, 1984

En este manual se publicaron por vez primera resultados de una investigación original, iniciada por el profesor Joaquín Marín sobre columnas cortas de concreto reforzado (Marín, 1971; 1974). Conceptual y numéricamente, en el *Manual para el Cálculo de Columnas de Concreto Armado*, se cumplía con los principios establecidos en las Normas COVENIN-MINDUR 1753 en su versión del año 1981 (Marín y Güell, 1984).

El Manual contenía igualmente previsiones para ajustarse a los requerimientos de la versión 1985 de dicha Norma COVENIN-MINDUR. La mayoría de los resultados presentados en esta singular contribución, se generaron por medio de algoritmos originales, de aplicación general, para el proyecto, cálculo y revisión de columnas de concreto armado sometidas a solicitaciones flexo-axiales. Estos se completaron con las disposiciones pertinentes para considerar el confinamiento del concreto, los efectos de esbeltez y las fuerzas cortantes.

Su validez y utilidad ha quedado demostrada por su generalizada aplicación durante el último cuarto de siglo.

V.9.2.- Manual para el Proyecto de Estructuras de Concreto Armado, 1985

Los ingenieros Enrique Arnal y Salomón Epelboim, publicaron en 1985 un muy completo Manual para el proyecto de Estructuras, auspiciado por el Ministerio del Desarrollo Urbano y la Fundación Juan José Aguerrevere del CIV (Arnal y Epelboim, 1985).

En su Introducción los autores señalan que, aún cuando el contenido de la Norma que dió origen a ese Manual no estaba totalmente divulgado en nuestro medio, la metodología ya era práctica usual entre muchos Ingenieros Estructurales.

Se señala como uno de los objetivos del Manual facilitar la aplicación de las Normas a mini-computadoras y equipos similares, cada vez de mayor uso en el ejercicio profesional. En particular se concedió importancia al detallado y disposición del refuerzo metálico, a la ductilidad y a la estructuración de edificios, temas estos tratados preferentemente en forma gráfica.

V.10.- EL CONCRETO PRETENSADO

Se sabe que en 1951, el ingeniero Nikola Luger, de origen yugoeslavo y llegado al país en 1948, fundó la empresa Aceroton C.A. Su sede consistía de un pequeño edificio industrial construido por el mismo, ubicado en Altavista – Catia, en Caracas. Adquirió un conjunto de equipos de metalmecánica con el propósito de fabricar los componentes básicos de los cables postensados para las grandes obras de concreto. Apoyado con la tecnología de la prestigiosa firma Suiza BBRV, la cual representó durante 25 años, se constituyó en uno de los pioneros de la especialidad del postensado y pretensado en Venezuela.

No podemos descartar que ya existiesen en Venezuela otras iniciativas similares. Informaciones recientes sobre los puentes de Caracas, apuntan a que el puente Veracruz (Av. Río de Janeiro) fue uno de los primeros, si no el primero, en haber sido postensado en Caracas (ingenieros Otaola y Benedetti).

V.10.1.- Obras, Textos y Enseñanza Universitaria

En la *Revista del CIV* se publicaron trabajos pioneros del profesor Brcek, Facultad de Ingeniería de la ULA (Brcek, 1952; 1954). En 1960, el ingeniero Johannes Johannson publicó, también en la *Revista del CIV*, una descripción ampliamente ilustrada sobre las características del puente pretensado con planta curva, para acceder al Helicoide en Roca Tarpeya; toda una novedad tecnológica en esa época (Johannson, 1960). Ese trabajo fue complementado años después con un artículo del mismo autor publicado en el *Boletín IMME*, sobre la introducción de momentos internos de torsión (Johannson, 1974).

El profesor Eduardo Arnal dictó los primeros cursos sobre concreto precomprimido en la Facultad de Ingeniería de la UCV (Arnal, 1950); posteriormente, también dedicó atención a los algoritmos para el cálculo automatizado de secciones (Arnal, 1964; 1998). También en esa Facultad dictó cursos sobre esa especialidad el profesor Johannes Johannson; de sus clases quedaron las notas del Departamento de Estructuras (Johannson, 1963; 1973) y, posteriormente, publicó su muy completa obra *Diseño y Cálculo de Estructuras Pretensadas* (Johannson, 1975).

V.11.- PRESAS DE CONCRETO

La información que sigue está esencialmente sustentada por conversaciones y datos suministrados por el ingeniero Diego Ferrer (Ferrer, 2010; 2011).

V.11.1.- Presa de Ocumarito

A comienzos de la década de los años 60, el poblamiento de la ciudad de Caracas continuó su acelerado crecimiento. Era necesario entonces ampliar las fuentes de abastecimiento de agua potable y complementar el sistema existente que, para esas fechas, era el Tuy I. Se pensó entonces en la construcción de un segundo sistema: el Tuy II que traería las aguas desde el río Ocumarito. Para ello debía construirse un embalse y, desde la estación de bombeo ubicada en el río Tuy, elevar el agua hasta la zona de la Guairita al Este de Caracas, en lugar de llevarla al embalse de la Mariposa.

Con la participación activa del ingeniero Luis Guillermo Pieretti, se constituyó un equipo multidisciplinario el cual muy pronto concluyó que el embalse Ocumarito sería insuficiente para los requerimientos de Caracas: participó la empresa “Oficina Técnica de Estudios Hidráulicos y Agronómicos” (OTEHA) de los ingenieros Carpóforo Olivares y Diego Ferrer. Se convino emplear parte de la reserva del embalse Camatagua, ubicado en la parte alta de la cuenca del río Guárico destinado originalmente en su totalidad a riego. Para transferir parte del agua embalsada era preciso construir un túnel de trasvase de 8 Km de longitud: el Túnel de las Ollas. El diseño y construcción de este túnel que atravesaba formaciones de lutitas, requirió estudios adicionales (**Nota 19**).

Para decidir sobre la posible construcción de una presa de concreto en arco o bóveda, se efectuaron estudios geotécnicos y de mecánica de rocas muy detallados: perforaciones en roca, ensayos de módulo elástico in situ en unos pequeños túneles que se construyeron en los eventuales estribos del sitio de la presa y otros, toda una metodología novedosa en el país. Hubo que desarrollar la metodología para la realización de exploración del subsuelo con equipos de perforación adaptados. Los resultados revelaron que la roca de fundación era relativamente buena, bastante sana y el cañón del río se prestaba para hacer una presa en arco. Inicialmente se solicitó los servicios profesionales del ingeniero consultor Laguiña Serafin y, finalmente, la consultoría fue contratada a una empresa italiana llamada Electroconsult que también había tenido experiencias previas en este tipo de presas.

Los estudios de fundación fueron muy ponderados por los ingenieros que realizaron el proyecto y participaron en la construcción. Años después, en 1999, el Ministerio del

Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, bautizó esta presa con el nombre “*Presa Ingeniero Diego Ferrer*”.

V.11.2.- Presa de Santo Domingo

No contamos con mayor información sobre este embalse.

V.11.3.- Presa sobre el Río Tucupido

Cuando en 1958 se iniciaron los estudios para la construcción de un posible embalse sobre el río Tucupido, la presa Boconó-Tucupido, se planificó la construcción de una represa de concreto. Durante el desarrollo de los estudios se constató un posible problema con el material granular disponible: este estaba compuesto por un tipo de agregados denominados “*agregados deletéreos*” que podían reaccionar con los álcalis del cemento, lo cual no resultaba conveniente para una presa de concreto, por su contacto permanente con el agua. Aún cuando ya se conocían ensayos normalizados para determinar el grado de peligrosidad de utilizar estos agregados, los resultados solo se podían confirmar a largo plazo; no se trataba de un problema de resistencia, sino de deterioro progresivo del concreto. Se decidió investigar otras obras de concreto ya hechas en los alrededores que permitiese evaluar el efecto del uso de éstos en el concreto.

Se identificaron pilas y muros de un puente cercano, hechos con concreto; de su observación se constató la presencia de agrietamientos severos que orientaron ensayos adicionales. Se tomaron muestras del concreto en el puente, se llevaron al laboratorio de petrografía del Ministerio de Minas y se analizaron secciones finas y se realizaron ensayos de reactividad potencial; se constató que había ocurrido una reacción con los álcalis del cemento (**Nota 20**). Esto requirió el estudio de otras fuentes de suministro adecuadas, las cuales representaban un alto costo de acarreo.

Lo anterior obligó al cambio de diseño de la presa; se optó por una presa de tierra zonificada, utilizando las gravas en los espaldones (**Nota 21**).

V.11.4.- Concreto para Presas de Gravedad

También denominados ‘concretos en masa’ son empleados en la construcción de represas hidráulicas, más en la de gravedad que en las de arco, así como en grandes fundaciones, estribos de puentes y similares. Una de las características de estas obras es la pequeña relación entre la superficie expuesta del concreto endurecido y su volumen total.

Por esa particularidad y tal como se indica en Porrero et al. (2004, p. 312 y ss.), la tasa de liberación del calor de hidratación generado en el interior de la masa es muy lenta; esto genera tensiones en la superficie que pueden dar lugar a agrietamientos inaceptables en superficies expuestas a la abrasión de corrientes de agua. Los recursos para minimizar ese problema son muy variados: el reforzamiento con barras de acero; el empleo de agua a muy baja temperatura (incluso en forma de escarcha de hielo) y enfriamiento de los agregados; bajas dosis de cemento; empleo de cementos de muy bajo calor de hidratación; inclusión en la masa de concreto de un sistema de tuberías o serpentines embutidos, por los cuales se hace circular agua inicialmente a baja temperatura.

V.11.4.1.- La Presa de Guri

Se reproduce a continuación la información suministrada por el ingeniero Herman Roo en 2003, sobre aspectos puntuales de esta gran represa de gravedad, ubicada en el bajo Caroní, recogidos en Porrero et al., 2004, p. 313. Dice allí: “*Para la presa de gravedad, la resistencia de diseño a la compresión del concreto en masa se fijó en 140 kgf/cm² a los 90 días. Igual resistencia se estableció para el cimaceo del aliviadero, a excepción de las superficies en contacto con el agua en el tobogán de alivio, que presentaban una zona de 4 m de espesor y cuyo concreto se diseñó para una resistencia a la compresión de 280 kgf/cm².*” (**Nota 22**).

A continuación y siguiendo a Roo, se indica: “*De una manera general, para las menores resistencias se emplearon los mayores tamaños máximos y menores contenidos de cemento. Ejemplos de mezclas típicas son los siguientes tamaños máximos, resistencias y*

contenidos de cemento: 6" para 140 kgf/cm² (contenido de cemento de 140 a 130 kgf/m³ de concreto); 11/2" para 280 kgf/cm² (contenido de cemento de 300 kgf/m³ de concreto)".

Con relación a las granulometrías de los agregados, tipo de cemento empleado, control de temperaturas, sistema de enfriamiento, control de agregados y del concreto en su estado fresco, precauciones en las juntas creadas por el realzamiento, y aditivos, se dan detalles en Porrero et al. 2004, pp. 312-317.

V.11.4.2.- Aditivos Incorporadores de Aire

La presencia de pequeñas dosis de aditivos incorporadores de aire en concretos con agregados de gran tamaño y bajos contenidos de cemento, si se mantienen constantes el asentamiento y el contenido de cemento, no afecta de modo sensible la resistencia. Estos aditivos fueron empleados en los concretos de la presa de Guri, conjuntamente con aditivos reductores de agua y retardadores de fraguado. Estos últimos permitían el vaciado de concreto durante los cambios de turno, cuya duración podía llegar a ser de 6 horas.

V.11.4.3.- El Problema de la Cavitación

Los trabajos de construcción del proyecto Guri se realizaron en dos etapas: la primera entre 1963 y 1978, y la segunda, en la cual se sobreelevó la cota de agua en 55 m, entre 1978 y 1986. Al final de esta etapa el área del embalse alcanzó 3.850 km² y un volumen de agua almacenada del orden de 134 Km³ (134 x 10⁹ m³), lo cual permitió la regulación del caudal del río Caroní, aguas abajo de la presa de Guri.

Las operaciones de alivio durante la primera etapa revelaron daños en el labio de los deflectores y en los muros de encauzamiento; se recomendó reparar con concreto y pintura epóxica las zonas dañadas (Marcano, 2009, p. 274). Inspecciones posteriores a su reparación revelaron daños mayores en los rápidos de los tres canales del aliviadero, con exposición de agregados y armaduras de refuerzo. En los disipadores de energía se constató erosión intensa con pérdidas de importantes volúmenes de concreto.

A mediados de los años 70 se decidió organizar el Laboratorio Hidráulico de Macagua y crear el Departamento de Hidráulica. Bajo esa supervisión se construyó el modelo tridimensional del proyecto Guri, escala 1:50, lo cual facilitó la evaluación experimental de las estructuras hidráulicas del proyecto Guri (Marcano, 2009, p. 275) (**Nota 23**).

Los estudios revelaron el problema de la erosión por cavitación, el cual fue analizado por los ingenieros del Departamento de Hidráulica de EDELCA y sus asesores. Se determinó así la conveniencia de diseñar los lanzadores sobre el nivel aguas abajo, con una operación libre de la sumergencia con lo cual se aseguraba un funcionamiento adecuado. Con esta solución y la inclusión de la aireación del flujo, se resolvió el problema de los continuos trabajos de mantenimiento (Marcano, 2009, p. 277).

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al ingeniero Diego Ferrer por su permanente interés y valiosa experiencia que generosamente nos ha ido transmitiendo. Igualmente un agradecimiento póstumo al ingeniero Herman Roo por la información que tuvo la amabilidad de adelantarnos antes de la edición de su muy completa obra. Al ingeniero Lucio Donadi por los datos que nos ha suministrado sobre la industria del cemento en Venezuela.

NOTAS

Nota 1.- La pregunta fue hecha por Valentina De Sola, hoy señora de Krenzien, al Arquitecto Carlos Raúl Villanueva en entrevista celebrada en abril de 1969. El diálogo fue reproducido por el padre de Valentina, ingeniero Ricardo De Sola R., en su obra: *Reurbanización El Silencio. Crónica* (De Sola, 1988, p. 87).

Nota 2.- Los resultados se publicaron en la Gaceta Oficial N° 10741, 9 de mayo de 1909 (sic) bajo el título: *Resumen de los ensayos hechos con el cemento nacional desde 9 de junio al 6 de julio de 1909* por: J. Escobar, Germán Jiménez, Alfredo Jahn Jr. y Y. Ortega Martínez.

Nota 3.- El cemento, importado, se emplea por vez primera en Caracas, en la pavimentación de la plaza Bolívar alrededor de 1870. Viene al caso citar una referencia del ingeniero Manuel Cipriano Pérez (*Revista Técnica del*

MOP, septiembre 1911, N° 9, p 427, cita de Arcila, II, p 396) a quien se había encargado de estudiar la dotación de agua para Aragua de Maturín, unos 1000 habitantes y cien casas hacia el año 1911; como costo del barril de cemento dio la cifra de Bs 30, el cual comparó con el costo de un peón que era de 2 a 3 Bs diarios. Posiblemente se contempló allí el empleo de cemento nacional.

Nota 4.- Sobre las propiedades de nuestros aceros y las varianzas de sus propiedades mecánicas, véanse los trabajos de: Paparoni (1963), Grases y Vigneri (1980); Castilla y Marinilli (2001).

Nota 5.- En el vol. 1 de Arcila Farías (1961, I, p. 306) se reproduce una foto de Cipriano Pérez; en el vol. II de esa obra, abundan las citas sobre su actuación en diversos proyectos del Ministerio de Obras Públicas. La biografía de Hernández Ron, es rica en información sobre su actividad como docente universitario. Como miembro de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Hernández Ron participó en la elaboración del busto que de Cipriano Pérez que acompaña la entrada a la Sala de Sesiones.

Nota 6.- A comienzos de los años 60, el acostamiento de un submarino en uno de los muelles dañó parte de los pilotes que sustentaban ese muelle. Hechas las reparaciones del caso, se procedió a una prueba de carga almacenando agua sobre el muelle hasta alcanzar unos 1500 kgf/m². La flecha remanente, luego de la descarga, reveló un asentamiento despreciable con lo cual se consideró la prueba exitosa (véase la **Sección V.5.2.3** y la **Nota 9**).

Nota 7.- El muelle de Puerto Cabello resultó ser el más indicado para importar puentes y material rodante de los ferrocarriles que se venían instalando en el país después de finalizado el ferrocarril Caracas La Guaira.

Nota 8.- Las menciones: ‘uno a dos’, ‘uno a tres’ ó ‘dos a tres’, se refiere a las diferentes dosificaciones ‘cemento-agregado’ del concreto a ser empleado.

Nota 9.- Es esta la primera prueba de carga que hemos encontrada descrita en la literatura sobre el tema (véase la **Nota 6**).

Nota 10.- Hernández Ron (1975, p. 34), acota: ‘Lebrún’ en lugar de ‘Lebrum’ que tiene Arcila.

Nota 11.- Según el diccionario Vox de la Real Academia (2ª edición, 1953) el verbo *aljorozar* es: Venezolanismo. Enfoscar, guarnecer con mortero [un muro]. Y *enfoscar* es: tapar los agujeros que quedan en [una pared] después de labrada, en general... guarnecer con mortero [un muro].

Nota 12.- Sobre el río Guaire, a la altura de la calle Sur 7, para el año 1925 se cita el proyecto de la firma Ayala y Wallis de un puente Sucre, de concreto armado. No está claro si este puente se llegó a construir

Nota 12a.- El Bloque N° 1 se encuentra ubicado al oeste del desarrollo; sus linderos son: por el norte la avenida Sucre y la esquina de Escalinatas; por el sur, la calle de la Amargura; por el este la Plaza Urdaneta; y por el oeste el cerro de El Calvario.

Nota 13.- En las Normas de los años 1939 y 1945, llamadas entonces Antisísmicas, prácticamente no se incorporaron recomendaciones contenidas en los trabajos citados. Las recomendaciones de Juan Francisco Stolk se emplean desde inicios del siglo pasado en países de las Antillas Mayores.

Nota 14.- Para las obras del MOP, el ingeniero Herrera Tovar preparó especificaciones a ser aplicadas para el uso del concreto; luego fueron incorporadas en el *Proyecto de Normas para la construcción de edificios* del MOP, el año 1938.

Nota 15.- No se indica en la reseña de esa información si se trata de probetas cilíndricas o cúbicas, ni se mencionan sus dimensiones.

Nota 16.- Por su presentación, la autoría de ese trabajo corresponde a la Dirección de Obras Públicas del Distrito Federal, División de Control de Construcciones. De La Rosa y Urreiztieta firman la nota que encabeza este largo documento, señalando que las fuerzas por sismo que incluye el documento: "*Están basadas en The Lateral Force Code, del Joint Comm. of the San Francisco, ASCE Calif. Sect. and Struct. Eng. Assoc. of North. Califor. (SEAONC)*".

Nota 17.- La Norma MOP del año 1955 fue una actualización de las *Normas para el Cálculo de Edificios* del mismo Ministerio, publicadas en agosto de 1947. Este documento se considera como la versión técnica más completa en la materia hasta esa fecha. Además del capítulo de cargas y sobrecargas, estableció criterios de diseño para construcciones de: acero, madera, concreto armado, muros y tabiques, y fundaciones, así como instalaciones sanitarias y abastecimiento de aguas.

Nota 18.- El cálculo de las solicitaciones sísmicas con las Normas posteriores a la provisional de 1967, presuponen que la estructura alcanza los estados últimos (respuesta inelástica). Por tanto, como los métodos de diseño empleados con la Norma provisional de 1967 se refieren a esfuerzos admisibles, para la comparación de los coeficientes sísmicos, por ejemplo de corte basal, es preciso emplear un factor de reconciliación que se ha estimado en 1.4.

Nota 19.- Las lutitas tienen la particularidad que en estado fresco se comportan muy bien, pero cuando se excavan, por ejemplo para la ejecución de un túnel, se hinchan porque son materiales expansivos. Los estudios para resolver este problema dejaron una valiosa experiencia.

Nota 20.- Algunos agregados pueden reaccionar con los álcalis que, en mayor o menor proporción lleva el cemento. Esta denominada ‘reactividad potencial alcalina’, genera productos de mayor volumen cuya fuerza expansiva deteriora el concreto. Para su identificación hay tres tipos de ensayos: petrográficos, químicos y pruebas directas de expansión (más información en: Porrero et al, 2004, pp. 77 y 78).

Nota 21.- La narración de este caso por parte del profesor Diego Ferrer, ejemplifica: (i) la importancia que tienen los estudios de sitio para sustentar de forma objetiva, la toma de decisiones antes de emprender una obra cuya vida útil debe asegurarse alcance por lo menos un siglo; (ii) el enriquecedor carácter pedagógico propio de la reconstrucción de la Memoria de nuestra Ingeniería.

Nota 22.- Una muy completa *Memoria Técnica del Proyecto Guri* fue elaborada por el ingeniero Herman Roo (-, 2011), actualmente en imprenta.

Nota 23.- El citado artículo del ingeniero Arturo Marcano, contiene un muy detallado análisis de los antecedentes de daños por cavitación a nivel mundial, así como el sustento de la solución adoptada en la represa de Guri. En las condiciones finales, los caudales de operación de hasta 260 m³/s con una caída de 140 m, generó importantes efectos de cavitación (véase: Marcano, 2009, pp. 273-275). La construcción del modelo hidráulico quedó en manos del ingeniero Manuel Grases G. (Maldonado-Burgoin, 1997, p.

REFERENCIAS

- ARCILA FARIAS, E. (1961). *Historia de la Ingeniería en Venezuela*. Colegio de Ingenieros de Venezuela, Edit. Arte, 2Vol. Caracas.
- ARCILA FARIAS, E. (1974). *Centenario del Ministerio de Obras Públicas. Influencia de este Ministerio en el desarrollo*. Italgráfica S.R.L. Caracas, 358 p.
- ARNAL, H. y EPELBOIM, S. (1985). *Manual para el proyecto de estructuras de concreto armado*. Ministerio del Desarrollo Urbano, Fundación Juan José Aguerrevere, CIV, 859 p. + anexos, Caracas.
- ARNAL M., E. (1950). *Lecciones de Concreto Precomprimido*. Caracas.
- ARNAL M., E. (1964). *Proyecto de viga de concreto precomprimido*. Programa para la computadora IBM 1629, Dep. de Ing. Estr., Fac. de Ing., UCV. Caracas, 32 p.
- ARNAL M., E. (1998). *Proyecto de Elementos de Concreto Precomprimido. Sistema PDI3*. Gerencia Técnica de SIDETUR, Gráficas EMIL. Valencia, 139 p.
- ASOCIACIÓN VENEZOLANA DE PRODUCTORES DE CEMENTOS (AVPC) (1976). *Sobre 20 años de Actividades (1956-1976)*. Gráficas HERPA, Caracas, 809 p.
- AVECRETO (2004). Ubicación de plantas productoras de cementos en Venezuela. Caracas.
- AYALA DUARTE, C. (1932a). Columnas. *Revista del Colegio de Ingenieros*, Caracas, p 237-241.
- AYALA DUARTE, C. (1932b). Armaduras con enlaces rígidos. *Revista del Colegio de Ingenieros*, enero de 1932 Caracas, p 804-807.
- AYALA DUARTE, C. (1934). Estudio de una viga rígida. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, vol. 1:135-139, Caracas.
- AYALA DUARTE, H. (1925). Puente Ayacucho, Caracas. *Memoria de Obras Públicas*, Capítulo IV, Caracas, p263-291.
- AYALA DUARTE, H. (1934). Puente Gómez y Avenida del Trabajo. *Revista del CIV*, XII, N° 102, p 1073-1077. Caracas. /Foto del Puente Gómez/
- BÁEZ G., J. (1973). Consideraciones sobre los aceros tratados en frío como refuerzo del concreto armado. *Boletín Técnico IMME*, N° 43-44, 103-107, Caracas.
- BELLO CABALLERO, L. (1923). Uso de las cabillas de sección cuadrada en las construcciones de cemento armado. *Revista del CIV*, Año 1, N° 8, Caracas, p 129-131.
- BRCEK, J. (1952). Hormigón precomprimido. *Revista del CIV*, 199, 16-25, octubre. Caracas.
- BRCEK, J. (1954). Puentes de hormigón precomprimido. *Revista del CIV*, 219, 20-26, junio. Caracas.
- CASTILLA, E. y MARINILLI, A. (2001). Propiedades del acero del refuerzo para el diseño de estructuras sismo-resistentes. *Bol. Técn. IMME*, vol. 39 (1):14-25, Caracas.
- CENTENO GRAU M. (1920). *Vigas de concreto armado*. Tipografía Americana, Caracas, 16 p./ Leído en la sesión del 26 de Setiembre de 1923 del Colegio de Ingenieros de Venezuela, publicado en la Revista del Colegio, p 150-155, ¿número y fecha?, Caracas/.
- CENTENO GRAU, M. (1940b). Construcciones y sus fundaciones en pisos apropiados. Cap. IX de su libro: *Estudios Sismológicos; /Recomendaciones para construcciones sismo-resistentes; sin modificaciones en la edición de 1969/*.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (1981). *Estructuras de Concreto Armado para Edificios, Análisis y Diseño*. MINDUR-COVENIN 1753-81. Caracas, 295 p.
- COMISION VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN) (1985a). *Prescripciones especiales para el diseño de elementos estructurales de edificaciones antisísmicas*. Capítulo 18 de la Norma COVENIN-MINDUR 1753-85. Caracas. /Documento a cargo de una Subcomisión coordinada por el Ing. César Hernández Acosta/.
- COMITÉ CONJUNTO DEL CONCRETO ARMADO (CCCA) (1967). *Normas para el cálculo de estructuras de concreto armado- teoría clásica 1967*. Publicada por la Comisión de Normas del MOP. Caracas.
- DE LA ROSA, J. y URREIZTIETA, O. (1953). Normas para el uso del Concreto Armado. *Revista del CIV*, N° 206:9-17; N° 207:4-17; N° 208:4-13, Caracas.
- DE SOLA R., R. (1988). *La Reurbanización de El Silencio. Crónica*. INAVI. Caracas, 320 p.
- FERRER, D. (2010). Conversaciones con el Dr. Diego Ferrer Fernández. Caracas.
- FERRER, D. (2011). La Vida Profesional. En: *Autobiografía del Ingeniero Diego Ferrer*, en preparación. Caracas, 35 p.
- FONDONORMA (2006). *Estructuras de concreto reforzado para edificaciones. Análisis y diseño*. Editado en dos volúmenes. Caracas.
- GOFFIN, JOSEPH (1898). *Les travaux de construction du Quai de Puerto-Cabello (Venezuela, Amerique Meridionale). Une nouvelle application originale de l'association du fer et du ciment*. /La cita de este folleto se da en la obra de Mónica Silva, 2009; su origen es El Cojo Ilustrado N° 153, 1 de mayo 1898, p 354/.
- GRASES, J. (1964). Diseño de mezclas de concreto. *Boletín IMME*, Año II, N°7, p 13-32. Caracas.

- GRASES, J. (1987). *Concreto Armado en Zonas Sísmicas. Requisitos de Diseño*. DIVISIDER, SIVENSA, ISBN 980-265-916-9, Caracas, 251 p. /A 20 años del terremoto de Caracas/.
- GRASES, J. y VIGNERI, A. (1980). Evaluación estadística de dos propiedades mecánicas de los aceros de refuerzo, relevantes en el comportamiento de miembros de concreto armado sometido a acciones de tipo sísmico. *Bol. Técn. IMME*, XVIII (67):71-86, Caracas.
- HANSEN, B.H. y GONZÁLEZ, P. (1976). Construcciones de concreto en Lago de Maracaibo. En: *Sobre 20 Años de Actividades*, Asociación Venezolana de Productores de Cementos, p. 643-662, Caracas
- HARWICH, V., N. (1997). Ferrocarriles. *Diccionario de Historia de Venezuela*. Fundación Polar, vol. II, pp. 345-349, Caracas.
- HELIACERO (1965). Empleo de barras torcidas en frío. Caracas.
- HERNÁNDEZ RON, S. (1975). *Biografía del Dr. Manuel Cipriano Pérez*. Pub. Bibl. Acad. de Cienc. Fis., Mat. y Nat., vol. XIII. Caracas, p. 152.
- HERRERA TOVAR, M. F. (1923a). Constantes específicas del cemento armado. *Revista del CIV*, N° 8:114-127, Agosto, Caracas.
- HERRERA TOVAR, M. F. (1923b). Notas relativas al cálculo de losas, vigas rectangulares y vigas en T de cemento armado. *Revista del CIV*, N° 8:127-129, Agosto, Caracas.
- HERRERA TOVAR, M.F. (?) Trabajos publicados. *Revista de Estudios de Ingeniería*, N° 15, p 13.
- IBARRA CEREZO, J.M. (1913). Informe del 24 de febrero de 1913. *Revista Técnica del MOP*, N° 30 p 396 y N° 39, p 104. Caracas. /El informe se refiere a la taponadura con mampostería de concreto citada en: Urdaneta (1912)/.
- IBARRA CEREZO, J. M. y JIMÉNEZ, G. (1937). Proyecto de muros de muelles de tablestacas 'Larsen' para las obras de mejora de Puerto Cabello. *Revista del CIV*, N° 122, 111-119, septiembre-octubre. Caracas.
- IBARRA CERREZO, J.M. y TORO MANRIQUE, C. (1911). Cálculo de la resistencia del puente de Hierro (Caracas, calle sur 5) para el uso del tranvía eléctrico. *Revista Técnica del MOP*, Tomo I. Caracas, p 368-370.
- JOHANNSSON, J. (1960). Puente de concreto pretensado para el Helicoide de la Roca Tarpeya. *Revista del CIV*, N° 286, 13-23, enero-marzo. Caracas.
- JOHANNSSON, J. (1963). Curso de concreto Pretensado. Caracas.
- JOHANNSSON, J. (1973). *Concreto pretensado*. Folleto N°1 del Departamento de Estructuras, Fac. de Ing., UCV, agosto. Caracas, 230 p.
- JOHANNSSON, J. (1974). Introducción de Momentos Internos de Torsión mediante Pretensión. *Boletín Técnico IMME*, N° 46, abril-junio, 3-26. Caracas. (Véase: Johansson, 1960)
- JOHANNSSON, J. (1975). *Diseño y Cálculo de Estructuras Pretensadas*. Talleres Gráficos Ibero-Americanos ISBN 84-267-0291-0. Barcelona, 582 pp.
- KULIK, J. (1947). Temblores de tierra y construcciones antisísmicas. *Revista del CIV*, año XXV, N° 166:214-220, Julio-Agosto, Caracas.
- LEÓN, E. (1932). Ábacos para el cálculo de Tubos de Concreto, para Cloacas. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. Caracas.
- LEÓN, E. (1938). Tablas para Cálculo de Tubos de agua. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. Caracas. /Fue también autor de trabajos e informes técnicos en variados campos de la ingeniería; inició los estudios con modelos hidráulicos a escala. Conocía cabalmente la técnica de los ensayos necesarios y la aplicación de las teorías de similitud/.
- LEÓN, E. y SANABRIA, J. (1935). Puentes rígidos de concreto, analizados sin matemáticas superiores *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, XIII- N° 109, pp. 1339-1356, Caracas. /Traducción de un trabajo del Profesor Cross/.
- MARCANO, A. (2009). El problema de la erosión por cavitación en el Aliviadero de Guri y su solución. Capítulo XVII de: *Ingeniería Forense y Estudios de Sitio*, Ediciones CITECI-CONSULIBRIS, ISBN: 978-980-7081-05-4, Caracas.
- MARÍN, J. (1971). *Comportamiento del concreto armado en flexocompresión*. Folleto de Estructuras N° 6, Dep. de Ing. Estr., Facultad de Ingeniería UCV, Cursos para Graduados, Caracas, 238p. /Basado en clases y referencias dadas por el Dr. Chester Siess, Universidad de Illinois/.
- MARÍN, J. (1974). *Resistencia de las secciones de concreto armado sometidas a flexocompresión: un método algorítmico general y sus aplicaciones en el diseño de columnas*. Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería, UCV, Julio, Caracas, 150 p.
- MARÍN, J. y GÜELL, A. (1984). *Manual para el Cálculo de Columnas de Concreto Armado*. Ministerio del Desarrollo Urbano (MINDUR), Imprenta Universitaria-UCV, 1987, Caracas, 220p.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1913). Normas constructivas a las cuales debe ajustarse la carretera Caracas-La Guaira. *Revista Técnica del MOP*, N° 30, 374-375, junio, Caracas.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1938). *Proyecto de Normas para la construcción de edificios*. Ministerio de Obras Públicas, Caracas.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1939). *Normas para el cálculo de edificios*. Ministerio de Obras Públicas, Caracas.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1941). Especificaciones normales para cemento Portland. *Revista del CIV*, N° 140, 128-130, julio-septiembre. Caracas.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1942). *Manual para el cálculo de edificios*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios. Caracas.

- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1945). *Normas para la construcción de edificios*. Litografía de Comercio, Caracas. /En este documento se menciona con frecuencia el Laboratorio de Ensayos de Materiales del MOP, así como especificaciones, las cuales aplican a: agregados, concretos, toma de muestras, etc. /.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1947). *Normas para el cálculo de edificios*. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Edificios e Instalaciones, Imprenta Nacional, Caracas.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1955). *Normas para el cálculo de edificios*. Dirección de Edificios e Instalaciones Industriales, Tipografía Italiana, Caracas, 382 p. /Este es el título del texto publicado en 1959. Véase, MOP 1959/.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1967a). *Normas para el Cálculo de Estructuras de Concreto armado para edificios-Teoría Clásica*. Comisión de Normas. Dirección de Edificios. Caracas, 166 p + apéndices.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP) (1967b). *Norma Provisional para Construcciones Antisísmicas*. Caracas, 18 p + mapa. /Sustituye la Norma sísmica del MOP del año 1955, la cual se consideró obsoleta/.
- MORALES, G. J. (2009). El despertar de una nación, la industria siderúrgica venezolana: su impacto en la economía nacional: 1953-2007. *Entre Siglo y Siglo*, Décimo Aniversario de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat. Editorial Ateproca, ISBN 978-980-7106-04-7. Caracas, p 169-214.
- MUÑOZ TEBAR, J. (1911). La Barra de Maracaibo, *Revista Técnica del MOP*. Enero, N° 1, pp 50-57.
- NOUEL, C., B. (1991). *Puerto de La Guaira: Historia, Vivencia y Visión*. Unión Offset, ISBN 980-07-0662-3. Caracas, 96 p.
- OLIVARES, A.E. (1930). Cálculo de las columnas de concreto. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. N° 80: 547-550, Caracas.
- OLIVARES, A.E. (1935a). Estudio sobre las cargas que pueden adoptarse en el cálculo de los puentes de carreteras en Venezuela. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. N° 107: 1285-1294, Caracas.
- OLIVARES, A.E. (1935b). Proyectos de puentes de vigas rectas de concreto armado para nuestras carreteras. *Revista Técnica del Ministerio de Obras Públicas*. N° 62: 8-20, Caracas
- OLIVARES, A.E. (1937). Tablas para fundaciones de pilares sobre placas de concreto armado. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*. N° 118: 7-13, Caracas.
- PAPARONI, M. (1963). Comparación entre una serie de ensayos Comerciales y una serie de ensayos Especiales sobre un mismo lote de Cabillas. *Boletín Técnico IMME*, N° 1, 13-19, Caracas.
- PORRERO, J., RAMOS R., C., GRASES, J. y VELÁZCO, G. (2004). *Manual del Concreto Estructural*. Ediciones SIDETUR, ISBN 980-6403-66-5, Seleccionar C.A., Caracas, 503 p. /Segunda edición en 2008/.
- RAMOS R., C. y SERRE, J.P. (1969). Ensayos de adherencia en barras de acero especial por tratamiento de torcido en frío. *Boletín Técnico IMME*, N° 25, 5-38, Caracas.
- ROO, H. (2011). *Memoria Técnica del Proyecto Guri*. CVG-EDELCA. En imprenta.
- RÜSCH, H., SELL, R. and RACKWITZ, R. (1969). *Statistische Analyse der Betonfestigkeit*. Heft 206 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. Ernst und Sohn, Berlin.
- SANABRIA, J. (1934). Proyecto de puente de concreto armado. Para los estudiantes de Ingeniería. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, N° 104, septiembre-octubre, pp. 1207-1211. Caracas.
- SILVA C., M. (2009). *Estructuras metálicas en la arquitectura venezolana 1874-1935. El carácter de la técnica*. Ediciones Convenio FAU-UCV y SIDETUR, con la colaboración de Tekhne, Consultores de Arquitectura, S.A. y el patrocinio de SIDETUR S.A. ISBN 978-980-00-2573-4. Caracas, 295 p.
- SMITH A. (1911). *Fabrica Nacional de Cementos*. Es el título de la sección *Industrias Nacionales*, de la *Revista Técnica del MOP*, Tomo I. enero 1911 Caracas, p 140-149.
- STOLK J. F. (1932). Datos útiles para las construcciones contra temblores. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas, UCV, Caracas.
- STOLK, J. F. (1932). Datos útiles para las construcciones contra temblores. Tesis para optar al Grado de Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas, UCV, Caracas.
- SUCRE, F. J. (1930). Cálculo de proporciones para concretos de resistencia predeterminada. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, N° 75 a 77, julio, agosto, setiembre. Caracas.
- SUCRE, F. J. (1934). Informe sobre la construcción de un malecón de concreto armado en la bahía de Turiamo. *Revista Técnica del MOP*, N° 58, p 1-10. Caracas.
- URBANEJA T., L.A. (1936). Experimentos practicados en Venezuela para la determinación de la resistencia de sus materiales de construcción. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*, Vol. III (15-16), p 729-753, Caracas.
- URDANETA, L. (1912). Informe y plano explicativo del Acueducto de Coro y Dique de Caujarao de 1866. *Revista Técnica del MOP*, N° 23, Tomo II, noviembre. Caracas, p 577-589 /Artículo post-mortem/. La taponadura mencionada en el texto, se describe en la misma *Revista Técnica del MOP*: N° 30, p 396 y N°39, p 104, en trabajos firmados por el Ingeniero J.M. Ibarra Cerezo.
- VIZCARRONDO J. A. (1934). Consideraciones generales acerca de las construcciones antisísmicas. *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela*, N° 102, pp 1121-1124, Caracas.