

EL PROCESO DEL CÁLCULO ESTRUCTURAL (Primera Parte)

Ing. René Blanco Heredia

1. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Carretera a Varadero Km.3½, Matanzas, Cuba.

Resumen.

El trabajo versa sobre el supuesto proceso mental que realiza un profesional de la ingeniería civil en el proceso de cálculo estructural. El autor propone llevar a los estudiantes de la mencionada carrera, por el camino que se debe recorrer cuando se trabaja como proyectista en cualquier empresa o grupo que se dedique al diseño estructural, por lo que el objetivo del trabajo es motivar a los estudiantes de los años 4^{to} y 5^{to} de la carrera, en el proceso del cálculo estructural, aunque puede ser comprendido por estudiantes de 2^{do} y 3^{er} año, lo que igualmente les resultará motivante. Como actividad profesional, el proceso de diseño, en cualquiera de las aristas de trabajo de la ingeniería civil, encierra “pasos” que son claves para el buen desempeño del diseño.

Palabras claves: *Diseño estructural; Empresa de diseño estructural; estudiantes de 5to y 4to de ingeniería civil, trabajos de la ingeniería civil.*

Introducción

En los últimos seis años, mi labor como docente de la carrera de ingeniería civil, impartiendo además las asignaturas de la disciplina de Análisis y Diseño Estructural, como son el Hormigón Estructural I y II, y Estructuras de Hormigón y Mampostería, despertaron la curiosidad de escribir una secuencia de pasos para el cálculo, que de forma ordenada y lógica diera a los estudiantes de la disciplina y de la carrera, de ingeniería civil, orientaciones generales integradoras, para el diseño estructural, como habilidad práctico-docente.

Expresamos, diseño estructural, por ser este el entorno donde el autor ha trabajado por más de 35 años, pero estos procesos de ingeniería no son patrimonio de los estructurales, son de cualquiera de las especialidades de la ingeniería civil, dedicada al diseño.

Es por ello, que este documento no tiene pretensiones profesionales, sino docentes; no está dirigido a los profesionales del diseño, porque durante muchos años, desde mi etapa estudiantil, diseñar parecía algo secreto, sólo alcanzable para los elegidos, y no encontraba ningún procedimiento explícitamente escrito en la literatura, por lo menos al alcance de este autor; muchos años después, oí expresar en más de una ocasión formando parte ya de la Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería (EMPAI) de Matanzas, <<“*que un buen proyectista estructural requiere de no menos de cinco años para su plena formación*”>>.

Producto de esta expresión, escuchada en reiteradas ocasiones, es que me dediqué a pensar en mi propia experiencia, estudiar e investigar en la bibliografía a mi alcance, cómo es en general la secuencia de pasos que mentalmente hace un profesional del diseño, y cómo sería la secuencia mental lógica, en el proceso del diseño.

Por otro lado, en mis años de director de un equipo de Dirección Integrada de Proyecto (DIP) de ingeniería de la propia empresa, cursado un diplomado a distancia con la Universidad Politécnica de Madrid, y estudiando la teoría desarrollada por Heredia (1999), en su libro “Dirección Integrada de Proyecto (DIP)”, plantea: << *Todas las cosas, desde la más pequeña hasta la mayor galaxia, no son, en realidad cosas, sino procesos* >>

Por lo tanto, el proceso de diseño estructural es un proceso y eso es lo primero que los estudiantes deben comprender, y como todo proceso, lleva implícito una cuota de pensamiento, a veces, muy superior al de la ejecución del proceso, si este ha sido educado para que las equivocaciones sean las mínimas y los errores permisibles.

Ante mí, el libro Diseño Estructural del profesor mexicano R. Meli Piralla; publicado en 1986 y que durante años, ha sido y es hoy en día, uno de los pocos autores de cálculo estructural, en el que autor se aventura en hablar de la labor del proyectista, me inclino más a decir “diseñador”, quizás por mi adicción, heredada de la etapa de trabajo en la DIP, de que los “proyectos”, son procesos, con principio y fin, o sea no son indefinidos en el tiempo.

El autor habla de forma abierta, expresando las experiencias profesionales de una persona con una encumbrada labor en la docencia y en la actividad profesional, reconocida internacionalmente, por demás.

Pecaríamos gravemente, si no se hiciera referencia al otro grande del diseño hispano en el campo de la ingeniería civil; el ingeniero español Eduardo Torroja, el cual sorprendió al mundo de la ingeniería civil, cuando en 1958 publicó el libro “Razón y Ser de los tipos estructurales”, libro a partir del cual muchos hemos bebido de esa fuente, referencia obligada para los estudiantes y profesionales del campo de las estructuras; libro el cual, sin “*atiborrantes fórmulas*”, como el mismo autor plantea, ni fórmulas, ni números, nos enseña el difícil arte de diseñar pensando en los elementos que conforma una estructura y los principios tensionales que rigen su forma de trabajo.

Por último, expresar que si al leer y/o estudiar, los criterios que aquí se expresan, sirven estos para despertar el interés por la “ingeniería civil”, el autor considerará que el tiempo invertido en escribir este trabajo está bien empleado y con ello se sentirá que cumplió con “*el deber, que tiene todo hombre tiene al llegar a la tierra*” .

“Todo hombre al llegar a la tierra, tiene el deber que se le eduque

y después en pago, contribuir a la educación de los demás”

José Martí Pérez.

Desarrollo

Quiero dedicarle unas líneas a temas que siempre resultarán muy polémicos; porque pretendo con ellas, que mis alumnos reflexionen sobre lo que se abordará; siempre habrán los que no estén de acuerdo, los que no lo entiendan, o los que por experiencias propias discrepen, no importa, todos tienen la razón.

Por supuesto, el autor de una obra siempre tendrá la ventaja de poder expresar sus ideas sin tener que discutir las con nadie, siempre será *“el que tire la primera piedra”* aunque este no es el caso, ya que en red de redes existen muchos documentos y criterios, muy parecidos o casi iguales a los que se expresaran; vale decir que estas ideas son frutos de la experiencia personal que nos da el ejercicio de la profesión, después de interiorizar muchas de las recomendaciones que los dos autores antes mencionados hacen del diseño estructural.

Entre los polémicos temas que abordaremos brevemente, está el del uso indiscriminado de los *programas profesionales de cálculos*, ellos existen en infinidad de versiones y cada cual trata de presentar el suyo como el ideal; en el campo de la ingeniería estructural, mi experiencia es que nada hay mejor que una hoja de cálculo montada en Excel, Mathcad o Matlab, donde uno mismo programa el proceso de cálculo y sabe a consciencia, las consideraciones de diseño que asume.

Torroja (1960), plantea: <<*La obra no nace del cálculo, es el cálculo el que resulta de la traza de la estructura*>>

Lo maravilloso de la ingeniería estructural está, en el análisis de ingeniería propiamente dicho, que no son los resultados de los programas de cálculo, es el análisis fundamentado que hace cada profesional ante las situaciones que la ejecución o el cálculo, le imponen; es a mi criterio poco profesional ver como estudiantes, e incluso a profesionales, se dejan arrastrar por el facilismo de sustituir el pensamiento de ingeniería, por los resultados de un programa, cuyas fuentes internas se desconocen, aún cuando se diga en su documentación, que trabaja con métodos tan exactos, como es el caso de los métodos finitos de cálculo.

Lo peor es que confían en los resultados que da el programa de forma tal, que llega a sorprender la ingenuidad con que dan por buenos sus resultados; mi experiencia me ha demostrado que diseños realizados con los programas, llegan a ser muchas veces por no ser dominados bien los programas, diseños sobre dimensionados, y por lo tanto, poco económicos, falto de análisis de ingeniería, amén de algunas equivocaciones que pudieran aparecer en los resultados.

Con este criterio, no negamos el desarrollo científico técnico, todo lo contrario, quien haya trabajado junto al autor de estas líneas, conoce que siempre ha sido abanderado de las nuevas tecnologías, que siempre ha promulgado el avance científico técnico a partir del estudio constante de las nuevas técnicas y tecnologías, pero de ahí, a cerrar los ojos y dar por bueno un resultado, sin realizar en conjunto con los de la computadora, un análisis de ingeniería, es otra cosa.

Todas las cerchas, calcúlelas por el método que ud la calcule, tiene que dar en el cordón inferior un tensor, o sea, tensiones de tracción simple; mientras el cordón superior, siempre estará en compresión simple, si es metálica la cercha; tan sólo porque la estructura metálica

se auto soporta; si fuere de hormigón armado estaría en un estado de flexo compresión el cordón superior, y el cordón inferior en flexo tracción, sencillamente porque el hormigón no se auto soporta, por su gran peso propio. Si estuviéramos hablando del hormigón postesado, otro sería el análisis y el resultado.

Conociendo esto, que es un conocimiento de la asignatura de Modelación Mecánica, una asignatura casi de inicio de la carrera, baste imaginar una cercha trabajando bajo las cargas actuantes gravitatoria externas, para imaginar la deformada de la misma.

Ahora nos encontramos preparados para entender con mayor facilidad el otro controvertido criterio, este no se ve tan claro como el primero en las etapas de estudiante, a mi me pasó también, ya que durante largo tiempo en los estudios en la enseñanza media, media superior y primeros años de la superior, nos dicen y nos reiteran que la matemática y la física son claves para las ciencias técnicas.

Esto es a mí entender es una verdad a medias, y uno de los momentos más traumáticos que imagino sufren mis alumnos, al comenzar los cursos que imparto, es oír al profesor decir *“la matemática no es ingeniería, que la ingeniería es mucho más que la matemática, porque ésta es sólo una herramienta para el ingeniero civil”*.

Torroja (1960), expresó al respecto: *<<El cálculo no es más que una herramienta para prever si las fórmulas y dimensiones de una construcción, simplemente imaginadas o ya realizadas, son aptas para soportar las cargas a que ha de estar sometida>>*

Por lo tanto, la ingeniería civil no es matemática, ni física pura, es “ pensamiento ingenieril”, cuan difíciles resulta de entender eso, porque la matemática es sólo una herramienta que usa el ingeniero estructural para comprobar sus predicciones sobre el funcionamiento de la estructura bajo los efectos de las cargas externas; baste que éstas cambien de posición o de valor, para que la estructura responda de manera diferente a como respondía antes del cambio; a eso tiene que estar preparado el ingeniero cuando diseña y construye, ese cambio debe ser pensado y analizado ante las posibilidades de que ocurra, la matemática como herramienta sólo nos sirve, para comprobar las hipótesis que como respuestas adelantadas, el diseñador estructural predijo, no obstante como expresa Torroja(1960) *“es saber consciente y ejercitado”* y el momento de aprender es el de interiorizar y ejercitar sobre un modelo, en la etapa estudiantil fundamentalmente.

La vida profesional es un constante aprender y ejercitar, pero conocimientos elementales y no tan elementales de ingeniería, son patrimonio de la carrera en la vida estudiantil, cuando ud. es ingeniero civil graduado, ud. debe saber y no se le perdonará que no sepa. Cuando un profesor emite una nota en clases, lo está alertando de que “sus saberes” están en un nivel, cuantitativamente reflejados por la nota; pero ésta, es el reflejo cualitativo a lo que ud. demuestra conocer.

Volviendo al tema que nos ocupa, *<<Vano sería el empeño de quién pretendiese dar con la atinada traza de una estructura, sin haber asimilado, hasta la médula de sus huesos, los principios tensionales que rigen todos sus fenómenos resistentes>>*(Torroja; 1960)

Esta sentencia cuyo contenido recita de memoria, un ingeniero estructural de la EMPAI, al que considero mi amigo personal y el cual admiro como profesional, encierra todo el

pensamiento de ingeniería que queremos introducir en los alumnos, aunque no sería ocioso también introducirlas entre profesionales que ejercen la actividad de diseño.

Imaginemos que debemos diseñar una estructura cualquiera, lo que haremos en la segunda parte de este trabajo, lo primero será pensar en “algo” que se enmarcan perfectamente en la siguiente sentencia; <<*En definitiva; el problema ha de plantearse con estas cuatro premisas o conjunto de ellas: finalidad utilitaria; función estructural o estática; exigencia estética y limitaciones económicas*>>(Torroja; 1960)

Quiere esto decir, que debemos antes de querer “tirar” un número, conocer cuál es el problema a que nos enfrentamos, aquí queremos agregar un elemento propio de nuestras actuales condiciones, ¿quién va a construir la estructura? Porque muchas veces las condiciones materiales y humanas que posea el constructor, definirán condicionales para el proceso de cálculo, querer diseñar olvidando al que deberá construirla, sin que ello implique una subordinación total como se pretende algunas veces en la actualidad, es desastroso para la obra en sí, que es el producto final de un proceso, en nuestro campo ingenieril.

Baste un simple ejemplo, antes de diseñar una estructura hay que pre dimensionarla, sólo la habilidad y la experiencia permiten suponer dimensiones que posteriormente serán las definitivas, pero esta habilidad y experiencia, no se adquieren como muchos estudiantes piensan, una vez graduado; se adquieren en la etapa estudiantil con el ejercitar una y otra vez un mismo problema cambiando las condiciones de apoyo, las cargas, las dimensiones de la sección y la resistencia de los materiales; estudiando los resultados obtenidos en cada caso y comparándolos, sólo así se podrán desarrollar habilidades y experiencias.

Una vez el autor tuvo que trabajar en el anteproyecto de una estructura, la misma se encontraba junto al actual museo de Playa Girón, el que conozca la provincia de Matanzas, sabe que la ciudad de Jagüey Grande, está ubicada a cierta distancia del poblado de Playa Girón.

La obra en cuestión tenía una forma poco convencional, las dimensiones de sus losas planas le daban pesos de hasta 15 t y las vigas principales presentaban luces de 9,50 m y puntales de hasta 6,50 m; estructuralmente se podían aplicar tres variantes, ejecutarla de manera convencional, ejecutarla con elementos prefabricados o hacer una solución mixta entre ambas.

A la hora de realizar el anteproyecto se visitó el lugar, existía poco espacio para ubicar una grúa de mediano porte; ¡entonces! cómo calcular la estructura sin definir, ¿serían prefabricadas las losas? ¿Existen grúas para poder montar las losas con esos pesos y a esa altura? ¡Claro que las hay! baste que la obra se priorice y las grúas estarán, pero cuando la obra se priorice hace mucho tiempo que el diseño estructural debió estar ejecutado parcial o totalmente.

Igualmente si la obra se ejecutara de forma convencional, la madera, los carpinteros encofradores y los equipos de seguridad, deberían estar definidos, pero ¿cómo definir estas cosas, si en ese momento no se sabía ni quién era el ejecutor de la obra, ¡y muy poco del promotor! No hay que decir que anteproyecto se quedó solamente en el intento.

Cuando los alumnos reciben la asignatura de Modelación Mecánica, muy enfrascados en las cuestiones matemáticas, que los presionan y los conducen a un estado de tensión ante lo nuevo y desconocido, no se fijan en lo que físicamente hacen, por otro lado ocurre lo que profesor Meli(1989) magistralmente describió <<“*desgraciadamente resulta difícil enseñar “criterios estructurales” en los libros de textos y en la aulas de clase. Es mucho más fácil enseñar fundamentos teóricos, métodos analíticos y requisitos específicos*”>>

Ocurre, que en las aulas un profesor tiene tanta materia de carácter técnico que exponer en las clases, que resulta difícil conjugar el tiempo de impartición de la asignatura y poder transmitir experiencias; en el caso del autor, lo intenta hacer permanentemente, pero confiesa que el tiempo es implacable y permanente enemigo, que le impide cumplir con los dos aspectos, muchas veces.

Cuando el estudiante recibe una carga tan importante de información, unida a los cálculos, el profesor tiene que realizar constantes llamados al principal mensaje que la asignatura de Modelación Mecánica le da en su estudio, amén de enseñar los primeros fundamentos del proceso de cálculo estructural,

La asignatura les está expresando que: *Cuando se diseña una estructura se están modelando procesos:*

Recordando, ¿Y qué proceso se modelan?

- 1) Se modela la geometría de los elementos de la estructura.
- 2) Se modela el sistema de vínculos entre los elementos de la estructura
- 3) Se modelan las acciones externas (cargas) que actúan
- 4) Se modela la resistencia de los materiales que la componen
- 5) Se modelan los procesos de cálculo.

Considerar desde la física y la matemática puras, respuestas a estos procesos, también nos lleva a equivocaciones innecesaria, ya que aquí en la ingeniería estructural no hay nada puro, todo es tan aproximado dentro de un rango lógico por supuesto, que cuando no se tiene costumbre del proceso, queda anonadado y cree no entender nada; sin embargo, como expresa Torroja (1960):<<*tres conceptos diferentes, aunque ligados entre sí, han de considerarse en toda estructura, así como en cada uno de los elementos que, enlazados entre sí, forman aquella: El equilibrio estático, la resistencia y la estabilidad*>>

Y es que cada etapa del camino estudiantil tiene sus funciones específicas y esta última, de ser ingeniero civil, también la tiene y un poco entra en contradicción con algunos postulados dichos en etapas o estudios anteriormente, antes de entrar de lleno en las asignaturas de la carrera. Es más, me arriesgo a expresar que hay contradicciones, dentro de la misma carrera, contradicciones no antagónicas y muy necesarias, pero contradicciones al fin.

¿Cómo se le explica un estudiante en segundo año que no existen en la realidad articulaciones y empotramientos perfectos?, éstos sólo suelen ser perfectos en el caso de las articulaciones cuando se diseñan para ello, pero en su inmensa mayoría funcionan como uno o como otro, bajo los efectos del nivel de carga que actúan; o sea, un empotramiento puede serlo hasta un nivel de carga, pero puede que ante los incrementos de carga, se

convierta en una articulación, como es el caso de las rótulas plásticas de las vigas, o la unión columnas-cimientos.

¡NO!; es necesario que el alumno aprenda primero que son las articulaciones y empotramientos perfectos, como dice la asignatura de Modelación Mecánica; que aprenda a diseñar los elementos con las asignaturas de Hormigón Estructural y luego en las asignaturas de Estructuras Metálicas, y Estructuras de Hormigón y Mampostería, enseñarle qué es una rótula plástica o una articulación virtual formada bajo los efectos de las cargas exteriores.

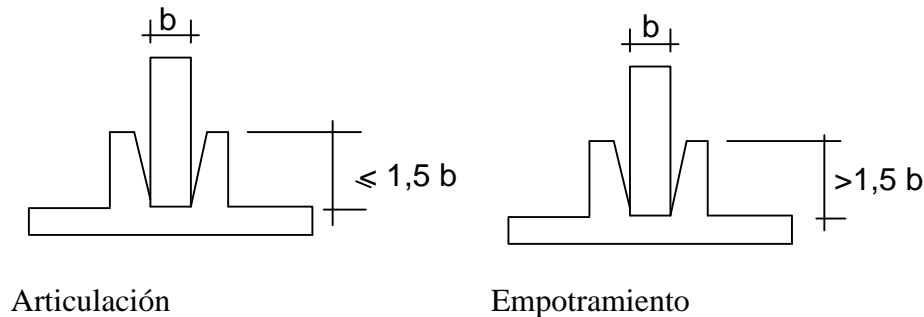


Figura No 1 Esquema de unión columna-vaso

Fuente: Elaboración propia

En la figura No1, se muestra un diseño de empotramiento y articulación entre columna y cimiento, para un alumno no conocedor del problema sería imposible determinar cómo funcionan, es más, para un profesional también le será difícil, si no es participante del proyecto una vez construida ésta; y pensará que está en presencia de dos empotramientos, esto será correcto para niveles bajos de carga; para niveles de diseño, una longitud de columna una vez y media la cara menor de la misma, será un empotramiento; una menor, será una articulación, pero si las cargas de diseño son superadas y esta acción permanece actuando por largo tiempo, el empotramiento dejará de serlo y se convertirá en articulación, dada la propiedad de fluir que tiene el hormigón bajo cargas sostenidas en el tiempo.

¡Continuemos, con el proceso de modelación!

La geometría de los elementos de la estructura

Los cursos de pregrado de Modelación Mecánica, enseñan que para calcular los elementos con los ejes centroidales de éstos y representamos una viga o una columna, con una simple línea, pero¿es realmente una línea, la viga o la columna? o hemos modelado las propiedades inherentes a las dimensiones y geometría del elemento y con las mismas que no es más que su eje centroidal, se representa el comportamiento del elemento,.

En la figura No 2 se puede ver el esquema volumétrico de una estructura aperticada y sus ejes centroidales, para observar las diferencias entre ambos.

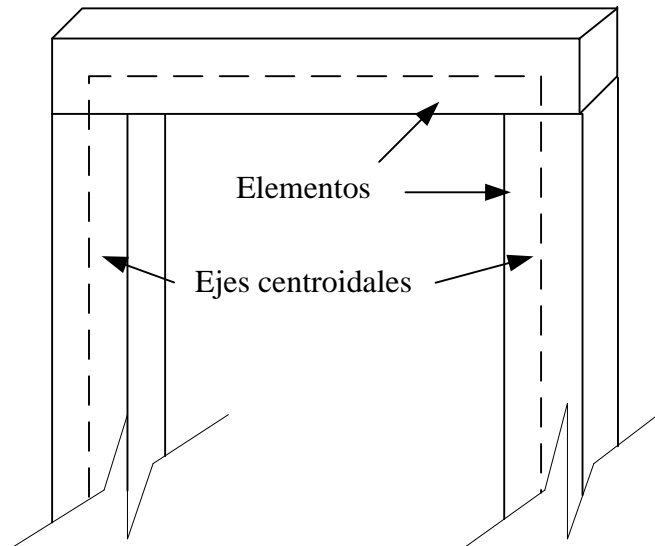


Figura No 2 Elementos reales con sus ejes centroidales

Fuente: Elaboración propia

Imaginemos que tenemos que elevar una viga, podremos elevar nosotros mismos la línea, pero una sección de viga de 25 cm de ancho por 35 cm de alto y de 10 m de longitud, pesa 2 100 kg (2,1 t), imposible para cualquiera de nosotros.

Cuando se diseña por ejemplo un puente, si este es prefabricado hay que pensar cómo se va a elevar para colocarla en su lugar definitivo sus elementos, porque una viga continua de 10 m de longitud, requerirá dos grúas, no por el peso, si no por el tamaño, cabría pensarse la mejor solución no serían dos vigas de 5 m cada una, y diseñar la continuidad una vez colocadas; todo dependerá del entorno de la obra.

Las asignaturas de Modelación Mecánica y Resistencia de Materiales, enseñan al estudiante los elementos imprescindibles en todo proceso de diseño estructural, este es el aporte que hace al proceso resistente, “*la geometría y las propiedades de los materiales de los elementos*”, o sea, que el aporte resistente de una sección sometida a cualquiera de las sollicitaciones que producen las acciones exteriores, no solamente es tomada por la resistencia del material de la sección, sea madera, metal u hormigón, hay un importante aporte que da la geometría de la sección y esto se demuestra con las inercias de las secciones, ya sea respecto a los ejes centroidales o a un juego de ejes desplazados a otra parte de la sección, como se puede observar en la figura No 3.

Aunque parezca elemental, este concepto no es bien comprendido por muchos alumnos en los años superiores, y lo llevan a cometer equivocaciones a la hora de decidir un diseño determinado, como lo exigen las asignaturas de los Proyectos Integradores.

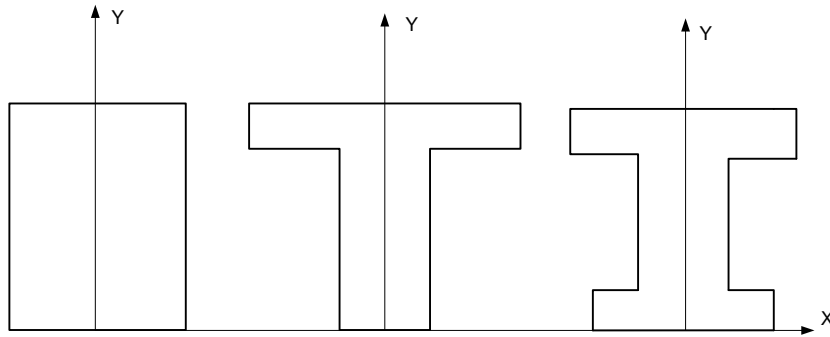


Figura No 3 Esquema de tipos de secciones

Fuente: Elaboración propia

Para ello se enseña el concepto de rigidez, para nosotros “*rigidez estructural*”, la misma cuya expresión es “ EI ”, donde E es el módulo de elasticidad del material e I la inercia de la sección, pero esta es desconocida por los estudiantes en sus trabajos independientes.

Si importante es el aporte resistente del material, más importante suele ser la geometría del elemento, por lo que es imprescindible antes de calcular pensar, analizar y decidir si donde podemos diseñar una viga rectangular, sería mejor poner una T o una I.

Por supuesto la primera es más “fácil de calcular”, pero la segunda y la tercera, son más racionales técnicamente, todo dependerá de las cargas actuantes y las luces que pretendamos cubrir.

Resumiendo, las líneas que dibujamos en el proceso de cálculo, son elementos físicos, tridimensionales, que tienen pesos, propiedades resistentes intrínsecas al material, se emplean en ellas recursos humanos y materiales para lograrlos físicamente en la realidad y su geometría será muy importante para la racionalidad del diseño.

El sistema de vínculos entre los elementos

La Modelación Mecánica, muestra por primera vez que las uniones o vínculos entre los elementos que componen una estructura, se pueden lograr con elementos que restringen tres grados, dos grados y un grado de libertad; tal y como se muestra en la figura No 4.

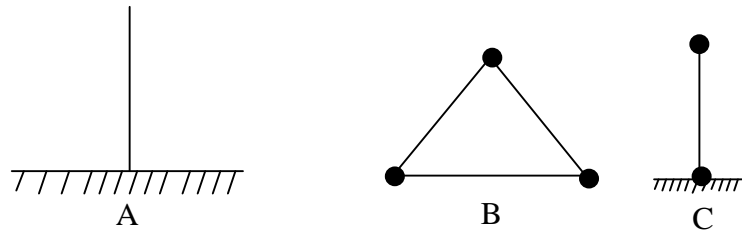


Figura No 4 Esquema de los tipos de vínculos

Fuente: Elaboración propia

Esto hace que surjan en los primeros (A) dos componentes en los ejes cartesianos y un momento concentrado; en los segundos (B) dos, una en cada eje, x y y ; el tercero (C) tendrá; una sola reacción de apoyo, generalmente en el eje y

Pero en casi su totalidad, no son vínculos tan puros, exactos, como los vínculos de las armazones que dan origen a la ingeniería mecánica.

Como ya se expresó, en su mayoría, funcionan bajo los efectos de las cargas, un empotramiento lo será bajo un nivel de carga, pero superado ese nivel se convertirá en una articulación plástica que sólo restringirá dos grados de libertad, esto hace que en elementos isostáticos, los diseños tengan un cálculo cuidadoso, porque una articulación plástica en el medio de una viga isostática, por ejemplo; dará tres articulaciones en línea recta y con ello un mecanismo. Esta situación se muestra en la figura No 5

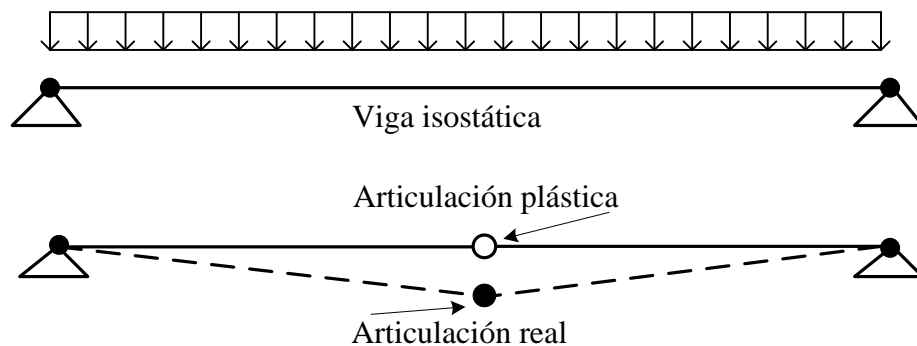


Figura No 5 Esquema de formación de una articulación plástica

Fuente: Elaboración propia

No es el caso de las estructuras hiperestáticas, donde las rigideces de los elementos que confluyen en un nudo, definirá cual de los elementos soportará más y cual menos, las solicitaciones actuantes, pero con la ventaja de que si el elemento tiende a fallar bajo cargas excesivas, el resto de los elementos "ayuden" al más cargado; Torroja(1960) lo escribió con una frase muy cómica, que se las dejo de trabajo independiente, para todos aquellos que estas líneas les sean de motivación profesional.

¿Quiere todo esto decir que será mejor una estructuras hiperestática?, por supuesto que no; siempre dependerá de las circunstancias en que se realice el diseño, por ejemplo, casi nunca realicé diseños hiperestáticos en suelos “muy malos”, o sea de poca resistencia, y ese concepto de “suelo malo” a veces depende del profesional que diseñe, para unos $1,5 \text{ kg/cm}^2$ es de baja resistencia, para otros no, para otros el límite está en 1 kg/cm^2 ; en el caso del autor y que no se la da de un gran conocedor de la asignatura de Geotecnia, un diseño, en dependencia de las cargas en suelos de menor resistencia de $1,5 \text{ kg/cm}^2$ ya es un suelo para pensar bien en la solución a plantarse; un esquema estructural en suelos de baja resistencia con grandes dudas en su comportamiento, es preferible diseñar con articulaciones entre las columnas y los cimientos, que con empotramientos, porque evitará que a los cimientos les lleguen momentos flectores fuertes que contribuyan al giro del cimiento.

Sirva esta experiencia aprendida de otros y del ejercicio de la profesión; cuando no se conozca la resistencia del suelo, se toma un pico y por la parte de la punta, se da un fuerte golpe para clavarlo, esto se hace repetidas veces en el área que se estudia; si la punta se clava como promedio 5 cm, se está en presencia de un suelo cuya resistencia puede estar cercana a los $1,5 \text{ kg/cm}^2$; si se penetra más, ¡Uf! cuidado se está en presencia de un suelo de 1 kg/cm^2 o menos; si la penetración es menor ¡felicidades! puede que llegue a 2 kg/cm^2 ; esto no es “marrullería”, como diría mi padre, ¡es que cuantas veces hay que calcular una estructura para ayer, en la vida profesional y no se cuenta con un estudio de suelo que le diga a ud, qué resistencia tiene el infeliz!

Liberar al suelo de tensiones de momentos, que pueden hacer girar el plato del cimiento, o producir asentamientos diferenciales que introduzcan efectos secundarios indeseables como posteriores rajaduras de paredes y tranques en puertas y ventanas, siempre será preferible, y decimos liberar al suelo de tensiones de momentos, lo cual es en forma parcial, porque la sollicitación de cortante de la columna actuando en la base de ésta, siempre producirá un momento ($V d$), cuyo brazo es la profundidad (d) de “desplante” del plato del cimiento, como se muestra la figura No 6;

En el caso de cimentaciones superficiales buscando el estrato resistente, se puede llegar a 2 m de profundidad, que ya es una profundidad límite de desplante para los conceptos técnicos y económicos, en cimentaciones superficiales.

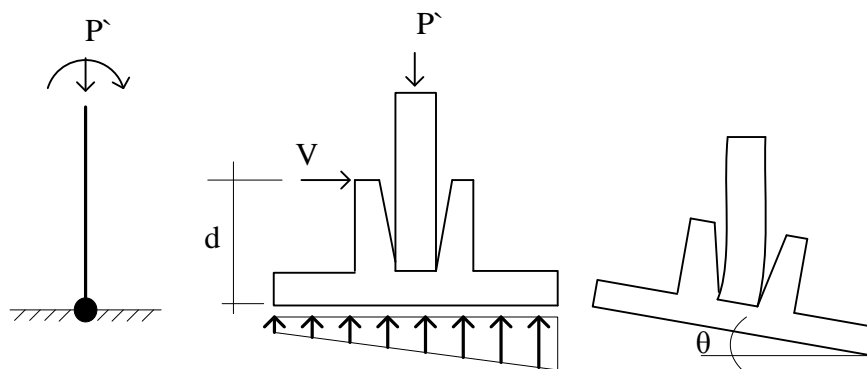


Figura No 6 Esquema de comportamiento de los cimientos superficiales

Fuente: Elaboración propia

De forma general, cuando el costo de la cimentación en una estructura supera el 10% del valor de la sobre estructura, ya las soluciones económicas y técnicamente correctas son las de cimentaciones profundas.

Mucho cuidado se tendrá que tener cuando dos columnas se no encuentren a una distancia prudencial una de la otra, aquí prudencial, es sinónimo del nivel de cargas que entregan las columnas a los cimientos y la resistencia del suelo donde cimentamos, modulación del sistema de columnas de la estructuras; porque puede ocurrir que los bulbos de presiones de los platos de cimentaciones (por cierto ¿alguien abra visto alguna vez el bulbo de presiones de una cimentación?) se solapen y el suelo tenga una sobrecarga que no admita, dando origen a los cimiento combinado, <<varias son las razones que nos conducen a adoptar esta solución y entre ellas tenemos, por interferencia en los esfuerzos que transmiten al suelo dos o más columnas>> (Carrazana y Rubio; 1974).

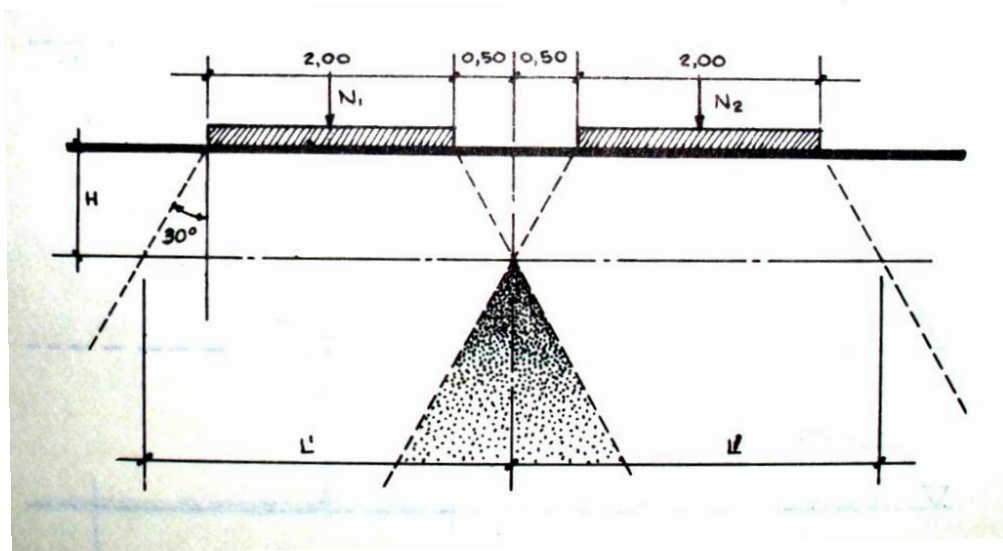


Figura No 7 Esquema de solape de tensiones entre cimientos aislados

Fuente: Técnicas Básicas de Construcción. Infraestructura; 1974

El sistema de vínculos de la sobre estructura estará determinado por la técnica constructiva, sean prefabricados los elementos o fundidos en el lugar (“in situ”), como suele llamárseles; de forma general diremos que siempre es más difícil de lograr en obra un empotramiento que una articulación, el primero requiere de un diseño exquisito y una más exquisita ejecución, dependerá de la mano de obra que se tenga, por lo tanto su uso debe estar limitado a esas condicionales de nuestro entorno y no podremos como profesionales, estar ajeno a ello; si se es un técnico de obra, habrá que estar muy pendiente de los esquemas que pretendan ser empotramientos, porque se puede cambiar el esquema previsto por el diseñador, lograr una articulación donde va un empotramiento y dar al traste con el esquema de funcionamiento estructural de la obra.

Por otro lado es más peligroso para el funcionamiento estructural, calcular con un esquema de un empotramiento y que las rigideces de los elementos actuantes estén lejos de lograrlo, porque si las rigideces no son las adecuadas, se convierte en una articulación; esta última

solución proyectada adecuadamente funcionará correctamente cuando actúe el sistema de carga y tendrá una “cierta reserva” para cualquier incremento de carga no previsto.

Las acciones externas (cargas) que actúan

Carga es una palabra mágica que comenzamos a oír, desde el 2^{do} año de la carrera, nos consta que los profesores que imparten la asignatura de Modelación Mecánica y Resistencia de Materiales, se desgastan en afianzar el concepto a los estudiantes, pero éstos de forma misteriosa aún en 4^{to} año no lo dominan.

Se define como “cargas”, <<la acción mecánica de acciones exteriores, cuya medida es la fuerza que caracteriza la magnitud y dirección de dicha acción, aunque frecuentemente como “carga” se sobreentiende su intensidad>> (Meli Piralla; 1986).

Según el criterio del autor se puede expresar de otra forma el concepto y decir, se les llama “carga” efectivamente a todas las “acciones exteriores” que producen una respuesta tensional de los elementos, esa respuesta tensional son las llamadas “solicitaciones”, que deben originarse sin que hayan fallos por resistencia o estabilidad (estados límites últimos), o fallos por deformaciones y fisuraciones, (estados límites de utilización).

En relación a la estabilidad nos acostumbramos a analizarla, sólo como un fenómeno de los elementos metálicos, por ser en éstos un aspecto crítico dada sus secciones; en el caso de los elementos de hormigón armado, ésta se analiza preferiblemente en las columnas ¡pero cuidado!, una viga de hormigón armado si no tiene una relación adecuada de peralte total contra ancho, puede perder igualmente la estabilidad lateral, como una viga metálica.

Volviendo al tema de las solicitaciones, ¿entonces, el peso propio del elemento es una acción exterior o interior?, visto desde el estado tensional que crea, es como una carga exterior, porque produce, un estado tensional importante en el elemento; el hormigón armado no se auto soporta y constituye no sólo una carga, si no una carga importante.

Diseñar olvidando la carga que constituye el peso propio del elemento en hormigón armado, es “pecado capital” les digo e insisto en clases a mis estudiantes, y no es capricho, calcule Ud. el peso de una losa plana de cubierta y verá que su peso propio es la principal carga actuante, ni la de uso, ni los impermeables actuales superan los valores de carga que el peso propio introduce para la mayoría de las edificaciones, sólo casos excepcionales como son los refugios soterrados o tanques de agua apoyados en las cubiertas, superan el peso propio de la cubierta.

En las evaluaciones de las asignaturas de Hormigón Estructural, diseñar los elementos estructurales y no considerar el peso propio, conlleva a repetir el examen, sin más análisis que el de enseñarle a mis estudiantes su examen para que comprueben su propio error.

Las cargas en general son de tipo “permanentes” o “temporales” llamadas también estas últimas de “uso o servicio”, existiendo en esa categoría las ecológicas y otras; un error elemental al comienzo de la vida profesional es no detenerse durante mucho tiempo para analizar las cargas que actúan y su temporabilidad; querer calcular rápido es lo que más creemos saber hacer, pero como decía un profesor uruguayo que tuve el privilegio de tener en los años de estudiante, <<el mejor ingeniero no es el que da la respuesta más rápida,

sino el que da la respuesta más acertada>>y eso mismo pasa en clases, se realiza una pregunta y hay quién responde si pensar.

La vida profesional demuestra que una estructura no va colapsar o fallar estructuralmente (son dos conceptos diferentes) si un error de cálculo está presente en el diseño, (¡error; por favor, no equivocaciones!), de igual forma si un coeficiente está más o menos acertado en su uso; ¡pero si puede fallar!, si una carga que no se consideró actúa en la estructura, presentándose en la vida útil de ella. Más adelante planearemos el tema de las hipótesis de cálculo.

Por lo tanto, a las cargas de uso, se le deben analizar la “temporalidad” de su acción y su condición “espacial” de trabajo, ambos son aspectos muy importantes en el análisis de ellas; si valoramos que algunas puede dejarse de incluir, que sea por un análisis estricto, riguroso y exhaustivo de los dos factores que las definen y que se expresaron anteriormente.

Siempre pongo como ejemplos en clases; ¿cuánto tiempo dura un vehículo circulando por el tablero de un puente?; ¿cuánto tiempo tienen los libros de la biblioteca central de la Universidad de Matanzas en el segundo piso del edificio donde está ubicada? Sólo para provocar el pensamiento de ingeniería, ¿qué tiempo de actuación tiene la carga sísmica?; ¡sólo segundos, por fortuna!

Una de las cargas que casi nunca se tienen en consideración, son las que pueden presentarse durante el proceso de ejecución, sólo se mencionan en los libros y por los docentes, es más, se incluyen muy poco en las consideradas por los estudiantes en sus trabajos independientes, también por algunos profesionales del diseño, que se alejan tanto de la ejecución, que ni eso analizan en sus proyectos.

Un ejemplo muy sencillo; si las columnas van a ejecutarse prefabricadas, lo más seguro que se ejecuten acostadas en unaplantade prefabricados, en el momento del despegue del cofrey de cargarlas para su transporte y en el momento de izarlas para montarlas; éstas, estarán trabajando como vigas y no como columnas, no sólo serán vigas, sino que tendrá un voladizo al menos; la ingeniería resuelve ese problema, pero ud.diseñador tiene que revisarlo y comprobar que no se fisurarán las columnas en el momento del despegue, o del izaje. En la figura No 8, pueden observar los dos momentos, a los que hemos hecho referencia.

Esto parece una exageración, pero ha ocurrido en más de una ocasión, por equivocaciones de los diseñadores unas y de los constructores, otras; los unos por no definir en sus planos la posición correcta de cómo fundir la columna, dejándole al constructor esa función y pensando que él nada tiene que ver con eso, pensamiento muy equivocado, porque un buen proyecto es patrimonio de todos los buenos especialistas que participan en él yudque forma parte del equipo del proyecto, aunque no lo quiera reconocer.

El constructor, porque no se estudio bien los planos ejecutivos, o no se preparó adecuadamente para construir las columnas, pensando en todas las fases porque las mismas tiene que pasar.

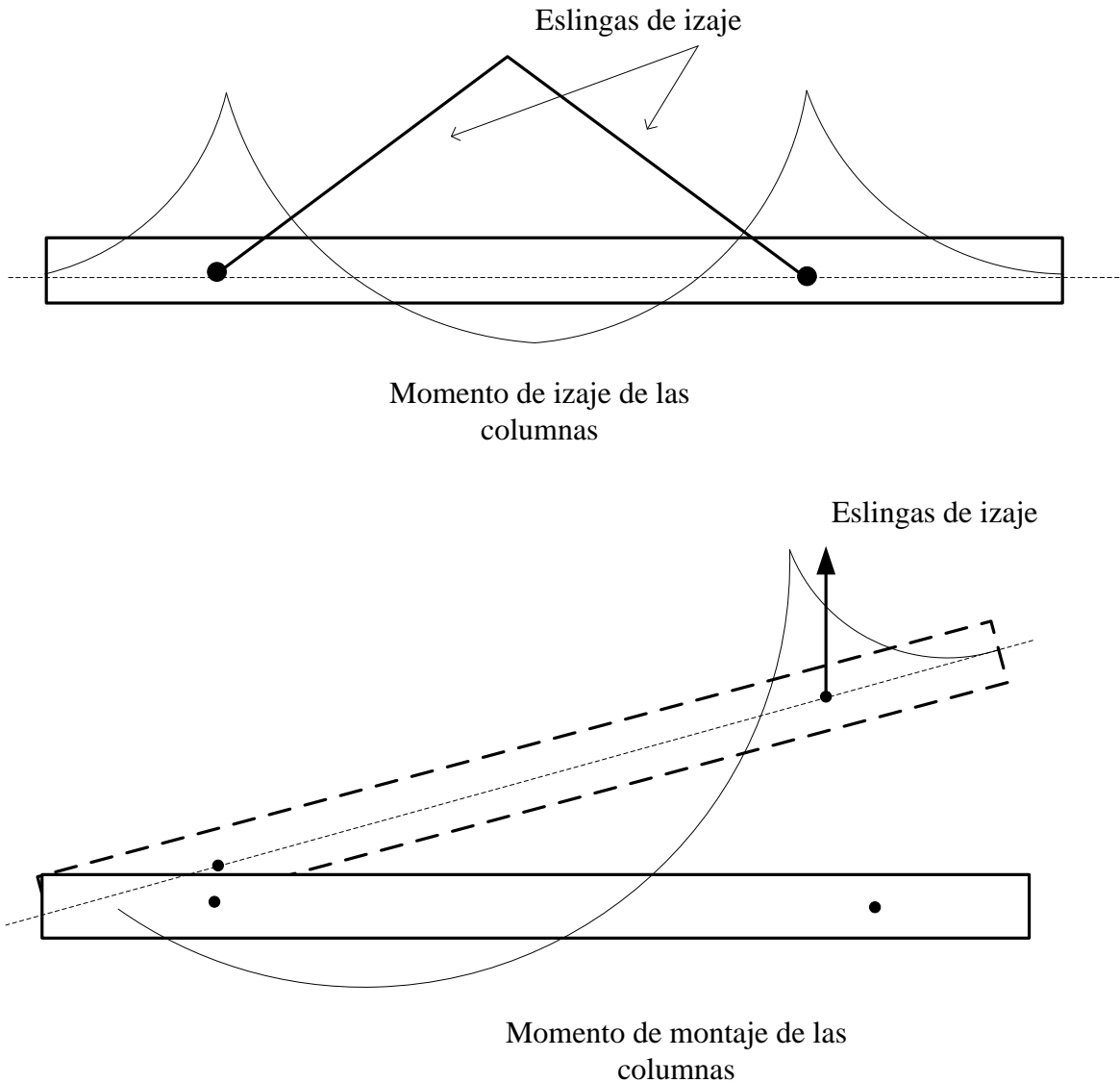


Figura No 8 Esquema de despegue e izaje de las columnas prefabricadas

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinadas las cargas actuantes, viene una pregunta interesante, ¿todas actúan al mismo tiempo y con igual intensidad? Para el novato sí, ¡ponerla todas corriendo para estar del lado de la seguridad!, pero hay que pensar en la racionalidad y la economía del diseño, imagínense calcular una edificación para que actúe un viento de 200 km/h, huracán de categoría 4 en la escala Saffir-Simpson y al mismo tiempo actúe un terremoto de grado 9 en la escala de magnitud de C. F. Richter; esa combinación no entra en el campo de la ingeniería común, no sé si la termonuclear de Cienfuegos, tuvo entre sus combinaciones una como esa.

Ahora, todas las cargas tienen como características comunes, como dice Melli(1986), << “su intensidad; la duración de su acción y la simultaneidad” >>, considerarlas actuando

con su máxima intensidad, con su máxima duración, todas simultáneamente, no es ingeniería, es facilismo o desconocimiento; lo más probable que por falta de estudio.

Finalmente, en un análisis detallado de las acciones, habrá que analizar cuáles de ellas son de tipo permanente y cuáles son del tipo temporal, aunque la temporabilidad de su acción sea por muchos años, es importante; porque los coeficientes que factorizan las cargas en los procesos de cálculo, no son los mismos y difieren sus valores.

La resistencia de los materiales que la componen

Como profesor de la asignatura Hormigón Estructural, hacia él nos dirigiremos, por todos los inconvenientes que presenta en su comportamiento, ya que por ser un elemento heterogéneo, inelástico y anisótropo, su comportamiento es más cercano a los elementos pétreos, que a los elásticos, homogéneos y elásticos, como el acero estructural, un profesor mío, al cual admiro mucho por su desempeño como persona y como profesional; muy cercano a mí aún en la actualidad, como amigo y colega, nos expresa en el aula <<“cuando hacemos hormigón, no hacemos más que hacer piedras artificiales”>>; frase que utilizo mucho por lo ilustrativa que resulta, cuando se estudia ese material.

Sin embargo, la primera dicotomía que encontramos, es que su tratamiento para el cálculo, en algunos libros lo tratan como material “elastoplástico”, nombre muy cómico puesto, como digo yo, para estar bien con la mano derecha y la izquierda; su comportamiento nunca es elástico, se dice que hasta el 40% del valor de la carga; lo es, es verdad, pero con una carga a compresión pura y esa es la forma en que menos veces lo encontraremos trabajando en los elementos estructurales, porque esa forma de trabajo, sólo se ve en las probetas cuando estas se rompen en una prensa; la flexión pura y la flexión compuesta, sean rectas o esviadas, el cortante o cizallamiento, la torsión, etc, son las formas más comunes de encontrar, sin embargo..... cuando se calcula, se hace como si fuera un material elástico, las teorías plásticas no han dado, hasta donde alcanza a conocer el autor, concordancia entre los resultados experimentales, y los cálculos teóricos.

Estamos, por lo tanto “modelando el comportamiento del hormigón” en nuestros análisis, al diseñar un elemento o estructura, estamos tomando sus deformaciones como un material que cumple la ley de Hooke, y le aplicamos la ley de la proporcionalidad de las deformaciones, con relación a la llamada línea nuestra.

Las herramientas estadísticas permiten calcular la resistencia característica de un grupo de probetas, que no es más que la resistencia requerida, que impone el especialista, en los cálculos realizados en el diseño y que tiene que alcanzar el constructor.

La relación agua cemento ($R_{a/c}$), y en esto alerta que la literatura proveniente de España, por ejemplo, se usa la relación cemento/ agua; es un factor muy importante, por cuanto la porosidad que se crea por las burbujas de agua en exceso dentro de la masa, harán bajar la resistencia final alcanzada por la amasada, si la comparamos con otra masa cuya $R_{a/c}$ sea más baja.

La $R_{a/c}$ ideal está sobre los 0,40, pero se corre el riesgo de que se queden partículas de cemento sin reaccionar disminuyendo esto la resistencia de la masa, además de la laborabilidad que requerirá de vibradores para la correcta colocación de la masa en el

encofrado; por estas razones se trabaja con asentamientos superiores, que garanticen que todo el cemento reacciona con el agua y garanticen una laborabilidad adecuada a las condiciones del entorno.

Muchos estudiantes me preguntan en clases, sobre algunos criterios de los “ejecutores improvisados” de placas y losas planas en relación al agua de amasado y las horas de ejecución de éstas; de todos los elementos estructurales, las losas planas y más aún las placas, son las más críticas en su paso del estado gel a sol, cuando se viola la $R_{a/c}$.



Una razón es que son elementos pocos esbeltos y cuya superficie expuesta al proceso de evaporación del agua de fraguado es muy grande, por lo tanto tiende a ser muy violento; la mejor hora para fundir estos elementos son las últimas horas de la tarde tendiendo a la noche, con una adecuada $R_{a/c}$ la losa se terminará de fundir de noche y las primeras horas de la madrugada generalmente más frescas que el

Foto No 1 Fallo del recubrimiento por oxidación de los aceros de la losa

Fuente: El autor

día, cubierta ésta con sacos o papeles mojados, con abundante agua para el curado, será imprescindible para un fraguado inicial controlando los procesos de fisuración, al no salir el agua de la masa violentamente por las acciones combinadas del calor de la reacción exotérmica cemento-agua y del calor del sol, a la que estará expuesta la losa plana, si se funde durante las primeras horas de la mañana, como es habitual.

Lo peor es que cuando el mal está hecho, el único remedio es demoler la losa plana o la placa para salvar las excesivas deformaciones que se producen en su faja central si está apoyada en los cuatro bordes y con ellas las filtraciones de agua que acortarán la vida útil de los aceros, pudiendo estallar al desprenderse los aceros del hormigón que los recubre y éste fallar por adherencia. En la foto No 1 se puede observar muy claramente esta situación.

Durante el proceso de elaboración de este trabajo, a unos vecinos del autor se le desprendió un área de recubrimiento de la losa plana del cuarto, que si no llega a ser en horas del día, cuando no había nadie en el cuarto, no sabemos nunca que hubiera ocurrido, porque al caer sobre la cama, partió una de las barras laterales de ésta. Lo peor es que en mi conversación con ellos me explicaron que la losa no daba muestra aparente de tener este grado de afectación, por lo que todos quedaron sorprendidos al ver el tamaño del área afectada.

Volviendo al tema de las resistencias, cuando calculamos estamos partiendo de que el acero y el hormigón tendrán la resistencia de cálculo, y habrá una perfecta adherencia entre ambos, pero no sabemos de antemano, con qué tipo de arena se ejecutará, su granulometría, su nivel de humedad y su contaminación con granos que pasen por el tamiz No 200 de la

tamizadora, como son las arcillas; estas últimas se puede conocer su presencia si con las manos húmedas se coge un puñado de arena y se frota fuertemente, si al soltar la arena, ud. tiene las manos de color ladrillo, la arena está contaminada y ese color se lo dejó en las manos la arcilla que contiene; esa es una forma “marrullera”, pero muy práctica en saber rápidamente cuál es la calidad de la arena que se tiene.

Tampoco sabemos qué tipo de piedra, ni cuan envejecido es el cemento con el que elaborará el elemento, y no nos estamos refiriendo a equivocaciones, nos referimos a los errores que se introducen en la elaboración de las mezclas, las mediciones de los ausentes ensayos de calidad de los materiales, los conos de Abrams para medir los asentamientos de las mezclas y todas las incertidumbres asociadas al proceso ejecutivo y de la vida útil del elemento.

En cuanto a los aceros, el grado de corrosión que éstos tienen, y sobre este tema aclaro una duda que me han preguntado otras veces, siempre será preferible un grado muy leve de corrosión en los aceros a éstos de color gris brillante como vienen de fábrica, porque esa corrosión superficial de color rojiza ladrillo, implica una porosidad superficial que ayudará a la adherencia de origen químico, mostrada a través de fuerzas capilares y moleculares de la adherencia, y como según Torroja (1960) “*que es como si el acero absorbiese pasta cementante*”

Mi amiga y colega, la Profesora Titular y Dr.C. Magali Torres, lo explica de manera excelente al decir: <<*que el acero está formado por metales; carbono, hierro y otros, cuyas partículas están unidas a través de enlaces metálicos, que se caracterizan por iones y electrones que se mueven libremente en la estructura del acero*>>.

Y agrega <<*del otro lado el cemento es una mezcla compleja formada por óxidos, compuestos hidratados, e iones en solución, lo que produce una interacción química entre partículas cargadas que producen uniones de diferentes formas electrostáticas, estas uniones pueden ser de diferentes tipos, en esto consiste la adherencia química*>>

El autor al escuchar la explicación de la Dr.C. Torres, en el proceso de elaboración de este trabajo, comprendió la parábola literaria de Torroja (1960) al expresar la absorción del acero de la pasta cementante y pensaba de cuán lejos estaban los franceses, J. Lambot (1855) y el jardinero Monier (1860) en poder explicar “la adherencia” al ser los primeros reconocidos, en utilizar el material hormigón armado.

Ahora una cosa es esa corrosión superficial y otra muy diferente es la corrosión que cuando ud. rodea con la mano los aceros y los aprieta, le deja las manos llenas de las capas concéntricas del acero, ese acero ya perdió sección resistente y no es la sección supuesta en los cálculos.

Esas capas concéntricas de acero son las causantes de que el hormigón de recubrimiento, con menor espesor que el resto del elemento se vea sometido a tensiones muy superiores a las permisibles, de acuerdo a su resistencia característica y estalle, como es el caso de la foto mostrada.

Modelación de los procesos de cálculo.

Por todas las razones que se han expresado hasta aquí, no es difícil de comprender que la matemática empleada no es la de la contabilidad, ni que la física empleada, es física pura; ambas tienen otras aplicaciones en procesos que requieran un rigor de cálculo exquisito.

En la vida profesional de la ingeniería sería una tontería, perder tiempo en calcular una parada de ómnibus, con un cálculo exquisito, como les digo yo, a mis estudiantes, “*con cálculos de contabilidad*”; como una irresponsabilidad profesional querer calcular un puente, a “*ojo de buen cubero*”, como se dice en buen cubano; el cálculo será realizado modelando la estructura y con todos los sentidos puestos en lo que se hace, para ser “*eficaces y eficientes*”. Dejo a mis estudiantes y a todo aquel que estas líneas le hayan despertado la curiosidad por investigar las diferencia entre eficacia y eficiencia.

El cálculo va a corroborar los elementos en los que hemos tomado decisiones previas, por lo tanto, el cálculo es la herramienta que nos demostrará que las decisiones tomadas son correctas, hay quienes confían en el cálculo ciegamente, en estos están los ciegamente utilizan los programas profesionales de cálculo, y hay quienes confían en su experiencia y diseñan con poco cálculo, para mi ambos están errados, el proceso de cálculo dependerá del tipo de estructura a que nos enfrentamos y la modelación que hemos previsto de ésta, así como sus elementos, por lo tanto tiene que haber una correspondencia entre lo que ud. pensó y el resultado final que dan los cálculos, si no hay correspondencia hay que buscar donde está el error, porque de seguro lo hay.

Me explico, un estudiante está en un examen o realizando un trabajo independiente, al final el resultado del diseño de una viga por ejemplo de 4 m de luz, de cubierta, le da 50 cm² de acero. Otro, se está calculando una columna en flexión compuesta, con diseño simétrico, con un juego de cargas que pudieran ser de un puente pequeño, columnas de tipo corto por el gálibo de puente, pero el cálculo nos muestra un resultado final de 75 cm²; no hace falta tener mucha experiencia, para saber que en ambos casos, algo anda muy mal.

Lo que hay es que haber calculado varias vigas y columnas y fijarse en cada caso, cuáles fueron los postulados asumidos y qué resultados finales mostraron, para saber si estamos dentro de los límites correctos; recuerdo que mi etapa de estudiante, en primer año de la carrera, estudiamos la teoría de los límites previo al estudio de las ecuaciones diferenciales, existía en esa época, un libro de límites de la editora soviética Mir, cuyo autor era Demidovich, este libro contenía más de 1 000 límites resueltos al final del libro, muchos resolvíamos límites y más límites, al final, como decíamos, nos ponían en 1001 en las pruebas y nos suspendían; la solución era muy simple, debíamos realizar sólo cinco o seis y fijarnos bien en el tipo, el proceder y en los resultados, muy rápido antes los primeros fracasos, nos pusimos con seriedad a pensar, estudiar y finalmente comprobamos que los resultados eran mejores; cinco columnas y cinco vigas bastan para tomar una referencia y saber cuando estamos equivocados, si hacemos con consciencia los cálculos y analizamos los resultados, comparándolos los unos con los otros.

Hablando de equivocaciones, quién desee dar la imagen de nunca haberse equivocado profesionalmente ¡que equivocados están! cuantas horas de trabajo en mis tiempos de estudiante, ejecutor, inversionista y proyectista estructural, trabajé equivocadamente, “*errar es de humano*” reza un viejo proverbio, “*el problema de un profesional no es equivocarse, es saber cuando está equivocado*” rezaba mi profesor uruguayo, y es así; la ingeniería es

saber cuándo lo que ud. está haciendo está dentro del campo de lo “correcto” y cuando está dentro del campo de lo “garrafalmente equivocado”.

Torroja(1960) plantea en unos de sus postulados más audaces que he leído, <<no es nunca en el desarrollo matemático correcto donde puede estar el fallo; es en las hipótesis>>y continúa, << el proyectista ha de cuidar mucho en enjuiciar las hipótesis, porque es vicio corrientísimo el enamorarse de la elegancia de un proceso matemático y adoptar una determinada solución estructural sólo por tener ocasión de desarrollarlo, sin reparar en los errores de las hipótesis necesarias para su planteamiento>>

Y aquí en las hipótesis es donde se encuentra la ingeniería, y nunca en la matemática y la física, nunca podrán dar respuestas a las hipótesis, nos darán las herramientas para comprobarlas, pero sólo hasta ahí.

Conclusiones

El proceso de diseño estructural, es un proceso que requiere primeramente de un pensamiento de ingeniería detallado de los elementos que vamos a diseñar; requiere saber y conocer toda la información necesaria que nos permita suponer y decidir los elementos que le corresponde al modelo que vamos a diseñar y que le son inherente, modelar mentalmente el proceso desde todos los puntos de vistas y tratar de establecer las *fortalezas* y las *debilidades* de cada una de las posibles soluciones a adoptar, porque las *oportunidades* ya ud. las tiene, ¡son todos los conocimientos y las herramientas que las asignaturas le han proporcionado de acuerdo, con el nivel en que ud. este cursando la carrera! En el caso de las *amenazas*, estarán dadas por lo incompetente que ud. sea, para hacer el diseño, cuando no se ha estudiado, ni ejercitado, ni profundizado en los conocimientos que las asignaturas le han proporcionado, de acuerdo con el nivel en que ud. este cursando la carrera.

Bibliografía

Carrazana Gómez, R.; Rubio Casanova, M.,(1974).“Técnicas Básicas de Construcción; infraestructura”; Ed. Pueblo y Educación; Habana; pág. 202.

Heredia de; Rafael; (1999). “Dirección Integrada de Proyecto. Project Management”; Ed. Escuela Técnica Superior, Univ. Politécnica (versión digital); Madrid; pág. 11.

MeliPirralla, R.:(1986). “Diseño Estructural”; Ed. Primera Edición Cubana; Habanapág.;20.

_____ “Diseño Estructural”; Ed. Primera Edición Cubana; Habamapág. 32.

_____ “Diseño Estructural”; Ed. Primera Edición Cubana; Habanapág.; 54.

Torroja, E; (1960);“Razón y Ser de los tipos estructurales”; Ed. Inst. Técnico de la Construcción y del Cemento; Madrid; pág. 1.

_____ “Razón y Ser de los tipos estructurales”; Ed. Inst. Técnico de la Construcción y del Cemento; Madrid; pág. 8.

_____“Razón y Ser de los tipos estructurales”; Ed. Inst. Técnico de la
Construcción y del Cemento; Madrid; pág. 13.

_____“Razón y Ser de los tipos estructurales”; Ed. Inst. Técnico de la
Construcción y del Cemento; Madrid; pág. 375.

_____“Razón y Ser de los tipos estructurales”; Ed. Inst. Técnico de la
Construcción y del Cemento; Madrid; pág. 381.

_____“Razón y Ser de los tipos estructurales”; Ed. Inst. Técnico de la
Construcción y del Cemento; Madrid; pág. 382.