

## APRENDIENDO COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL A TRAVÉS DE PUENTES DE ESPAGUETI

ECHALAR FLORES MICHAEL WILLY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Civil M.Sc. Departamento de Estructuras y Ciencias de los Materiales UAJMS

Correo electrónico: [michaelechalar@hotmail.com](mailto:michaelechalar@hotmail.com)

### RESUMEN

Este trabajo resume la metodología empleada para la realización del “1er Concurso de Puentes de Spaghetti” realizado en la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Se exponen los pequeños logros alcanzados y lo que se espera a futuro pueda obtenerse a nivel académico como de práctica mediante la realización de este concurso. Se expone el reglamento para la participación en el concurso que incluye restricciones geométricas y de masa; se indica los materiales empleados, la metodología constructiva básica y la forma de aplicación de carga a las estructuras para conseguir su falla.

### PALABRAS CLAVE

Puente, Espagueti, Spaghetti, Puente de Espagueti, Diseño, Construcción, Concurso, Ingeniería Civil.

### INTRODUCCIÓN

Un puente de espagueti según la página del Okanagan College, es una estructura construida con pasta y pegamento; a la cual generalmente se le restringe la cantidad de material empleado en su construcción, se define para salvar una longitud de tramo específica y debe de soportar una carga. Se construyen con fines educativos y de competencia, en las que la estructura que soporta más carga gana.

Los certámenes se realizan en varias preparatorias y universidades alrededor del mundo, con el objetivo de despertar las habilidades ingenieriles y las aptitudes del trabajo en equipo de los participantes como indican Segovia L.A., Morsch I.B., Masuero J.R. (2005). Dos de las competencias más importantes del mundo son:

“RECCS, World Championship in Spaghetti Bridge Building”, que se celebra en la Universidad de Óbuda localizada en Budapest, Hungría. Cuyo record actual es de 570.30 kg, establecido en 2013 por Csaba Járó y Miklós Vincze alumnos de esa universidad.

Otro concurso muy importante es el “Annual Spaghetti Bridge Building Contest”, que se realiza en el Okanagan College ubicado en la Columbia Británica en Estados Unidos. Dentro de esta competencia el record actual fue establecido en 2009, con un puente de 982 gramos de masa que resistió 443.58 kg construido por Norbert Pozsonyi y Aliz Totivan de la Szechenyi Istvan University de Gyor, Hungría.

El actual record del mundo con restricción de masa corresponde a un puente de 984 gramos de masa que resistió 466.05 kg diseñado y construido por Peter Sandor del College of Nyiregyhaza, de Hungría; quien ganó el concurso del Okanagan College en 2012 con un puente de 967.24 gramos de masa que resistió 384.09 kg y que tiene en internet un libro de 59 páginas con consejos, datos técnicos y parámetros de diseño para lograr, según él un puente campeón del mundo, como él explica en su página.

A nivel universitario estas competencias tienen un tratamiento muy serio, ya que se hace una aplicación muy profunda de materias en las que se enseña: planificación, diseño y construcción. Para completar el trabajo necesario para participar se tienen que cumplir plazos de entrega y un cronograma de desarrollo de la estructura. Se deben conocer los parámetros ingenieriles del fideo empleado en la construcción, lo que requiere determinar mediante ensayos u otras metodologías su módulo de elasticidad y resistencia a compresión y a tracción. Se deben realizar planos constructivos deta-

llados para materializar la estructura, se deben desarrollar procesos constructivos para lograr con fideos lo idealizado. El fideo es un material de difícil manejo ya que si se humedece un poco pierde su rectitud, es difícil realizar sobre él cortes limpios; el empalme de elementos es complicado y no responde favorablemente ante todos los pegamentos.

Todas estas características hacen que la experiencia de participar en un concurso de puentes de espagueti enriquezca directamente a los alumnos para enfrentarse a un problema de planificación, diseño y construcción en el mundo real. El desarrollo del trabajo requiere del serio trabajo en equipo, por lo que también propicia el desarrollo de esta aptitud.

En la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, durante el segundo semestre de la gestión académica 2017. Mediante iniciativa de la Sociedad Científica de Estudiantes de Ingeniería Civil; gestión del Laboratorio de Resistencia de Materiales, el Departamento de Estructuras y Ciencias de los Materiales, y la Decanatura de la Facultad. Con el apoyo de la SIB Tarija. Fue realizado el “1er Concurso de Puentes de Spaghetti” de la carrera. En la figura número 1 se puede ver el momento en que se ensaya la primera estructura.



Figura N° 1

El evento se realizó el 3 de noviembre de 2017 en horas de la tarde, en el Laboratorio de Resistencia de Materiales; contó con siete grupos participantes, compuestos por tres personas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se describen los materiales empleados para la competencia:

Fideos tipo espagueti; se pudo emplear cualquier fideo tipo espagueti, de sección sólida y recta, se permitió la generación de secciones mayores uniendo varios fideos, pero sin la posibilidad de barnizarlos o rellenarlos con pegamento. Las propiedades mecánicas necesarias para su empleo en el diseño estructural fueron estimadas y tomadas de páginas de internet. Se espera que en la edición siguiente sean determinadas experimentalmente por los alumnos en el Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Pegamentos varios; fueron permitidos todos los pegamentos blancos, fríos o calientes; los pegamentos epoxicos de uno o dos componentes y las siliconas líquidas frías y solidas en caliente.

Equipo de aplicación y medida de carga; la transmisión de la carga se logró mediante el empleo de un sistema de tirafondo y cadena que soportaban un balde de 30 litros de capacidad. El tirafondo fue vinculado a la estructura mediante placas de madera y de este colgaba la cadena que sujetaba el balde. Instalado esto se procedía a llenarlo pausada y cíclicamente con arena seca hasta el colapso de la estructura; ocurrido esto se determina el peso del volumen cargado.

Para la realización del concurso se siguieron los siguientes pasos:

Reglas de la competencia; se procedió a la revisión de varias convocatorias de este tipo, extractando de las mismas los aspectos fundamentales. La redacción final estuvo basada principalmente en el concurso realizado dentro del XII Congreso de Estudiantes de Ingeniería Civil con sede en Sucre del 11 al 15 de septiembre de 2017. Las reglas principales fueron:

- Masa máxima de la estructura igual o menor a 1000 gramos.
- La estructura debe salvar una luz libre de 70cm.
- Geométricamente no se deben exceder las siguientes medidas: longitud total de la estructura de 80

cm (incluye 5 cm a cada lado de los apoyos para garantizar soporte y 70cm de luz libre). Altura sobre plataforma de 40 cm, altura debajo de plataforma de 7 cm. Ancho de plataforma de 15cm. Estas limitaciones se muestran en el esquema de la figura número 2.

- La estructura debe contar con un agujero de 1cm por 1cm situado exactamente en su centro para permitir la instalación de un tirafondo.
- La estructura debe estar construido empleado únicamente fideos tipo espagueti y pegamento, no se permite barnizar los fideos ni rellenarlos con pegamento.
- Dentro los parámetros indicados se debe generar cualquier geometría de estructura que resista la mayor carga posible.
- Al momento de la entrega se debe adjuntar un informe de diseño.

Análisis estructural; se dejó a libre elección el programa de cálculo a emplear pudiendo ejecutarse este en teléfono-inteligente o computadora pudiendo realizarse el análisis en 2 o 3 dimensiones, siempre y cuando lo analizado represente la estructura idealizada y construida en la mayor medida posible.

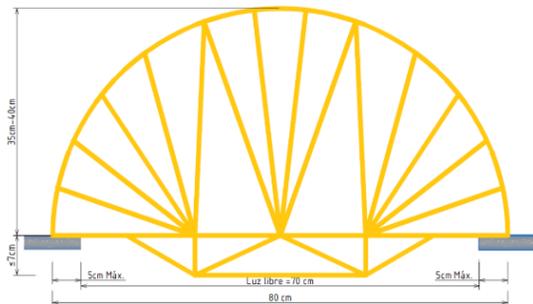


Figura N° 2

Diseño y planos; para la construcción de la estructura fue necesaria la confección de planos a escala 1:1, para sobre ellos diseñar las uniones y detalles, para poder cortar y ensamblar los fideos de acuerdo a las dimensiones extraídas del diseño.

Construcción; al no tener antecedentes de realización de este tipo de construcción y competencia; se realizaron en el laboratorio construcciones al 50% del tamaño

real, para determinar los métodos constructivos más adecuados y el tipo y forma de aplicación de los pegamentos. Determinados estos parámetros se procedió a la construcción de la estructura final.

Competencia; El día 3 de noviembre en horas de la mañana se procedió al inicio de la competencia con la recepción de las estructuras, registrando a su entrega el nombre de los participantes y controlando que no se exceda el valor de 1000 gramos en su masa.



Figura Nro 3

Ya en horas de la tarde en función de su orden de entrega se procedió al ensaye y rotura de cada una de ellas determinando la carga de rotura, en la figura número 3 se muestra una de las estructuras en concurso con el sistema de carga instalado y listo para ser llenado con arena. Posteriormente de acuerdo a las reglas del concurso se revisó su masa, carga de rotura y calidad de informe de entrega para determinar a los ganadores.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Concluido el ensaye de todas las estructuras y evaluados sus masas e informes, los tres primeros lugares se muestran en la tabla Nro1 a continuación.

Puesto	Masa Gr	Resistencia Kg
1	850	34,96
2	735	21,45
3	645	13,04

Tabla N° 1

Es destacable que en un primer concurso de esta naturaleza se haya logrado una estructura que resista 34.96 kg. Pero este valor no es lo más importante del concurso, ya que todos los participantes ganaron mucho tanto en su parte académica como en la personal ya que para poder presentar su estructura fue necesario para cada grupo recorrer un camino, es este recorrido lo más importante.

El primer aspecto es la formación de un grupo de trabajo, definido directamente por afinidad pero conformado para participar. Para que este equipo funcione se debe dejar atrás la costumbre de que uno solo hace el trabajo y el resto simplemente pone su nombre. Debido a la cantidad de áreas y trabajo a realizar se debe planificar específicamente la tarea de cada miembro, se debe pasar de ser “una serie de individuos circunstancialmente reunidos a un conjunto de personas trabajando por objetivos comunes” como indica Tovar, A. (2001).

El segundo paso es “estructurar un proyecto común en relación a varios contenidos” [Tovar, A. (2001)], se deben vincular conceptos de varias asignaturas para emplearlos en un solo cometido, se requiere de Dibujo Técnico, Resistencia de Materiales, Estática, Análisis Estructural, Dirección y Planificación de Obras, y otras tantas materias para lograr cumplir con el producto adecuado.

El tercer aspecto es programar y dirigir los trabajos de diseño, dibujo y construcción del puente. Esta etapa involucra prácticamente las actividades y planificación necesarias para la construcción de una obra real, se hace un juego de lo que a futuro se hará en la práctica profesional.

## CONCLUSIONES

En momento en que claramente se constató que los alumnos habían transitado por los puntos mencionados, fue ya cerca del día de la competencia; momento en el cual dentro de sus grupos de trabajo, hacían uso de lenguaje técnico y refiriéndose con mucha seriedad a los componentes de la estructura de espagueti que construían. La reunión y charla que sostenían en ese momento no difería mucho de las que se realizan para el manejo y planificación de obras reales.

La competencia de puentes de espagueti es muy emocionante y convocante para los alumnos y esperamos que año a año se eleven las resistencias alcanzadas, pero el trasfondo principal es el desarrollo y aplicación de los conocimientos que adquieren en la carrera y que sirve de base para el ejercicio profesional.

El ganar el concurso es que sin duda alimenta la motivación y estado de ánimo de los participantes, pero más importante aún son las lecciones aprendidas en el camino recorrido para participar.

## BIBLIOGRAFÍA

Tovar, A. (2001). El constructivismo en el proceso enseñanza-aprendizaje. México: Instituto Politécnico Nacional

## ARTÍCULOS

Segovia L.A., Morsch I.B., Masuero J.R. (2005) “Didactic Games in Engineering Teaching. Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest”, Proceedings of COBEM, 18th International Congress of Mechanical Engineering,

## PÁGINA WEB (WORLD WIDE WEB)

Obuda University. RECCS History. Fecha de consulta, 21 de marzo de 2018, de <http://reccs.uni-obuda.hu/en/history>

Okanagan College. Spaghetti Bridge Contest > History > Heavyweight. Fecha de consulta, 21 de marzo de 2018, de [http://www.okanagan.bc.ca/Programs/Areas\\_of\\_Study/Technologies/spaghettribridge.html](http://www.okanagan.bc.ca/Programs/Areas_of_Study/Technologies/spaghettribridge.html)

Peter Sandor. Fecha de consulta, 27 de marzo de 2018, de <https://spaghettribridgebuilding.com/>