

# SEGUNDA COMPETENCIA DE PUENTES DE SPAGUETTI - 2014: SOL DORADO

SECOND SPAGUETTI BRIDGE CONTEST (2ND SBC) - 2014:  
GOLDEN SUN

42

## Autores

Ricardo Wong\*, Pacífico Franco y Alejandro Tuñón.

## Área

Licenciatura en Ingeniería Electromecánica  
Centro Regional de Veraguas  
Universidad Tecnológica de Panamá

## RESUMEN

Este trabajo recopila información sobre la construcción del puente Golden Sun, elaborado para participar en la segunda competencia de puentes de spaghetti celebrada en la Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Veraguas. El puente fue desarrollado para cruzar un abismo de 50 cm, soportando una carga concentrada en su centro y pesando menos de 2kg. Se describe el proceso de construcción del puente Golden Sun, el cual se distingue por estar construido usando “cemento de spaghetti”.

## PALABRA CLAVE

Concurso de puentes de spaghetti, Cemento de spaghetti, Puente arqueado de spaghetti.

## ABSTRACT

This work compiles information about the construction of the Golden Sun Bridge, inscribed in the SBC that took place on the Universidad Tecnológica de Panamá's campus in Veraguas. This bridge was developed to cross a gap of 50 cm and to support a concentrated load in its centre with a weight of less than 2kg. We describe the process used for creating the Golden Sun Bridge, which is based on the use of “spaghetti cement”.

## KEY WORDS

Spaghetti cement, spaghetti bridge contest, arched spaghetti bridge.

## 1. Introducción

El concurso de puentes de spaghetti es una iniciativa in-novadora en las ramas de la ingeniería, debido a que es una manera práctica entretenida y didáctica de aplicar los conceptos aprendidos en asignaturas como estática y mecánica de materiales, siendo ésta última la asignatura en la cual nos fue propuesto realizar dicho puente de spaghetti. He aquí el comienzo de nuestra labor ingenieril para aplicar todos los conceptos adquiridos en clase a dicha tarea.

La búsqueda de información relacionada, es algo fundamental a la hora de realizar cualquier tarea, principalmente si consiste en algo inexplorado por el grupo, debido a que te permite recolectar conceptos y te brinda un punto de partida para realizar el proyecto, en este caso para nosotros: diseñar el puente perfecto.

La distribución de cargas en cualquier estructura es fundamental en su diseño, por esta razón las estructuras curvas poseen menos puntos críticos frente a fallas por fractura, de este modo se nos ocurrió la idea de crear un puente de arco continuo macizo, los cuales distribuyen la carga de modo uniforme hacia sus bases mediante un esfuerzo compresivo, pero ¿cómo crear una estructura sólida utilizando elementos con formas predefinidas? De ahí surgió la idea de utilizar “cemento de spaghetti”.

Del mismo modo en el que las rocas grandes son molidas y luego pegadas utilizando un cemento; nosotros decidimos triturar un spaghetti utilizando una licuadora, para luego formar una estructura compacta, fuerte y resistente, añadiéndole un relleno adhesivo que mantenga las partículas unidas.

## 2. Materiales y Metodología

Para poder realizar el diseño del puente propuesto fue necesario encontrar la proporción de mezcla correcta entre spaghetti y goma. Para encontrar la mezcla correcta se confeccionaron distintas mezclas, las cuales pasaron por un ensayo de compresión.

### 2.1 Diseño de la mezcla

Se utilizó una licuadora para fragmentar el

spaghetti y se obtuvieron dos formas de spaghetti básica: polvo y fragmentos pequeños, debido a que estábamos explorando territorio nuevo era necesario experimentar con ambos.

Después de obtener los ingredientes básicos, spaghetti (polvo y fragmentado) y pegamento (blanco, silicón frío y caliente) se mezclaron en distintas proporciones. Estas mezclas fueron realizadas en vasos de plástico de 55ml para darnos una forma geométrica estándar. Los ingredientes de la mezcla fueron pesados en el mismo envase final para evitar pérdida de materiales y etiquetados con un marcador negro por fuera. Dentro de las mezclas se usaron las siguientes proporciones en peso de goma:

- Goma blanca y polvo: 65 %, 61 %, 58 %
- Goma blanca y fragmentos: 52 %, 40 %, 33 %
- Goma fría y fragmentos: 22 %
- Goma caliente y fragmentos: 30 %

Adicionalmente se creó un arco con una mezcla de goma caliente y fragmentos, envasado en un molde rústico hecho de cartón y cinta adhesiva.

### 2.2 Ensayo de compresión

El ensayo consistió en introducir la muestra cilíndrica dentro de la máquina de compresión mostrada en la Figura 1, la cual ejercerá una fuerza creciente hasta que la muestra ceda. En el monitor de la máquina se puede observar la fuerza aplicada a la muestra en tiempo real, nosotros anotamos el punto más alto antes de que el cuerpo se deformara. Para calcular el esfuerzo máximo se utilizó la fórmula (1).



Figura 1. Máquina de compresión.

Cabe notar que en ninguno de los ensayos se produjeron astillas y que los cilindros obtuvieron una forma de disco después de que hubieran cedido, esto es indicativo de que nuestras mezclas tienen una alta elasticidad. Aprovechamos el laboratorio para revisar si un prototipo de arco cumplía con nuestra meta, los resultados indicaron un futuro prometedor para nuestro tipo de puente, con una relación de carga sobre peso de  $80\text{kg}/1.2\text{kg}=66.66$ .

### 2.3 Molde y vaciado de la mezcla



Figura 2. Arco de acero.

Originalmente, usamos un molde de metal (Fig. 2) pensando que necesitábamos un molde que se pudiera calentar para homogeneizar la mezcla de goma caliente, pero nos encontramos con un grave problema al momento de desmoldar el primer arco. Después del primer intento, decidimos crear otro molde a base de cartón, con una pequeña diferencia esta vez (Fig. 3). Utilizamos una plancha de plywood como base, a la cual clavamos soportes en forma de arco, luego se preparó la coraza de cartón que, apoyada sobre los clavos, permitió mantener la forma del molde, aún después de calentarse.

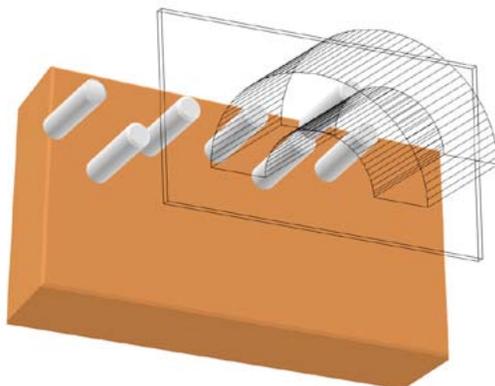


Figura 3. Esquema del molde usado finalmente.

Para el vaciado se preparó la mezcla por lote, añadiendo cada lote uno a uno y aplanándolo en el momento antes de que enfriara. A final se horneó todo el molde para homogeneizar un poco la mezcla en general, aprovechando para aplanarlo nuevamente.

### 2.4 Acabado del puente

Por último, en el proceso de la construcción de nuestro puente, estuvo el aplanamiento de imperfecciones, adición de bases de soporte y decoración general.

#### 2.4.1 Aplanado y corrección de imperfecciones

Para el aplanado utilizamos dos métodos: con el filo de una navaja (utilizando un exacto se remueven trozos grandes sobrantes) y usando una lija de madera.

#### 2.4.2 Bases de soporte

Como era necesario que el puente se mantuviera erecto a lo largo de la prueba, se adjuntaron dos bases de soporte utilizando un poco de mezcla de goma caliente y fragmentos. Para esto se elaboraron pequeños moldes rectangulares de cartón.

#### 2.4.3 Decoración

Se decoró por último añadiendo el carril con un aspecto de troncos, pegando pequeñas varillas de spaghetti a lo largo del arco inferior, además se grabaron las inscripciones del nombre del puente y las iniciales de los integrantes utilizando un soldador para aplicaciones electrónicas, aprovechando la naturaleza del spaghetti al ser quemado.

## 3. Resultados

### 3.1 Tablas y gráficos

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión y el cálculo de los esfuerzos se muestran las siguientes tablas y gráficos, en las cuales están plasmados dichos valores experimentales. Se ve claramente que en la resistencia la compresión del cuerpo S2 sobresale con respecto a los demás.

La variación de esfuerzo se debe al tipo de pegamento utilizado, ya que en los dos primeros cuerpos de prueba se utilizó goma silicona y en los demás goma Resistol blanca.

Tabla 1. Propiedades y características de los cuerpos.

cuerpo	masa (g)	área (m <sup>2</sup> )	cant. spaguetti	cant. Goma.		
S1	33,83	0,000283	25	27		
S2	44,89	0,000322	35	17		
P1	39,2		0,000312	31	21	
P2	31,54		0,000264	18	34	
P3	28,95		0,000264	20	32	
P4	31,01		0,000264	22	30	
SI1	37,65		0,000321	10	35	
SI2	32,21		0,000318	12	33	

Tabla 2. Datos obtenidos en el ensayo de compresión.

cuerpo	fuerza (kN)	esfuerzo
S1	3	1,06E+03
S2	2,4	7,46E+03
P1	4,2	1,35E+03
P2	2,8	1,06E+03
P3	3,7	1,40E+03
P4	4	1,52E+03
SI1	8,1	2,52E+03
SI2	5	1,57E+03

Basados en los cálculos de esfuerzos en las secciones críticas del diseño y con los valores de resistencia obtenidos en las pruebas realizadas, se estimó que por aproximación este puente es capaz de soportar como mínimo diez veces su peso.

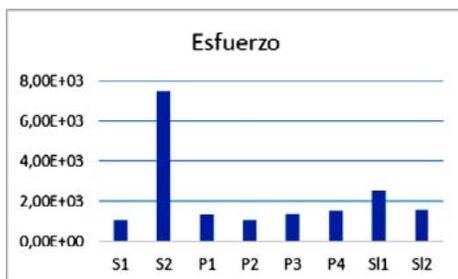


Figura 4. Gráfico de esfuerzo para cada cuerpo.

### 3.2 Aspecto final del puente

Los resultados finales fueron mejores de lo esperado, ya que al final se obtuvo una estructura firme y fuerte, la Figura 5 muestra el aspecto final de nuestro puente.



Figura 5. Puente terminado.

## 4. Conclusiones

Finalmente, se utilizó goma caliente debido a su bajo costo por volumen en comparación al de la goma fría que según los ensayos tenía una mayor resistencia.

En el transcurso del proyecto, debido a la innovación en el uso de materiales hubo que idear formas distintas para la manipulación de estos.

El compactar la mezcla ayuda a eliminar posibles puntos débiles del puente. En nuestro caso que estábamos trabajando con goma caliente fue necesario calentar toda la mezcla de modo uniforme utilizando un horno.

Debido al elevado número de intentos fallidos y de modelos construidos se pudo ver y comprobar los modos de falla y resistencias comparativas de los diferentes puntos del puente.

Los puentes en forma de arco son los más comunes, gracias a que la forma permite una distribución perfecta de los esfuerzos de compresión.

El Golden Sun Bridge fue capaz de soportar una carga máxima hasta su ruptura de 37.049Kg, lo cual arrojó una relación carga/peso de la estructura de 17.72.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a todos los profesores que han formado parte de nuestro desarrollo intelectual. Agradecemos al Dr. Alexis Tejedor por promover actividades interesantes como la construcción de este puente.

Agradecemos al profesor Hong Chi Shun, cuyo apoyo nos encaminó al último diseño de nuestro puente.

### REFERENCIAS

[1] González S. Luis, Morsch B. Masuero R. Joao, "Didactic Games in Engineering Teaching-Case: Spaghetti Bridges Design and Building Contest" in Proceedings of 2005 COBEM 18th International Congress of Mechanical Engineering, 2005