



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA**



Diseño de una secuencia didáctica basada en modelización  
matemática para el nivel bachillerato

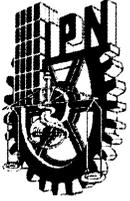
Tesis que para obtener el grado de  
Maestría en Ciencias en Matemática  
Educativa presenta

**Esteban Pablo Díaz**

Directores de la Tesis

Dra. Avenilde Romo Vázquez  
Dr. Alejandro Miguel Rosas Mendoza

Diciembre, 2015



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 12:00 horas del día 27 del mes de noviembre del 2015 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICATA-Legaria para examinar la tesis titulada:

Diseño de una secuencia didáctica basada en modelización matemática para el nivel bachillerato

Presentada por el alumno:

<u>PABLO</u>	<u>DÍAZ</u>	<u>ESTEBAN</u>							
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)							
		Con registro:	B	1	3	0	4	1	0

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Matemática Educativa

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

\_\_\_\_\_  
Dra. Avenilde Romo Vázquez

\_\_\_\_\_  
Dr. Alejandro Miguel Rosas Mendoza

\_\_\_\_\_  
Dr. Apolo Castañeda Alonso

\_\_\_\_\_  
Dr. Mario Di Blasi

\_\_\_\_\_  
M.C. Juan Gabriel Molina Zavaleta

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio Calderón Arenas



**CICATA - I.P.N. U. LEGARIA**  
Centro de Investigación en Ciencia  
Aplicada y Tecnología Avanzada  
del Instituto Politécnico Nacional

**Instituto Politécnico Nacional**

**P r e s e n t e**

Bajo protesta de decir verdad el que suscribe **Esteban Pablo Díaz** (se anexa copia simple de identificación oficial), manifiesto ser autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada **Diseño de una secuencia didáctica basada en modelización matemática para el nivel bachillerato**, en adelante “La Tesis” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante El IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales “La Tesis” por un periodo de **diez años** contado a partir de la fecha de la presente autorización, dicho periodo se renovará automáticamente en caso de no dar aviso a “El IPN” de su terminación.

En virtud de lo anterior, “El IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de “La Tesis”.

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de “La Tesis”, manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de “La Tesis”, por lo que deslindo de toda responsabilidad a El IPN en caso de que el contenido de “La Tesis” o la autorización concedida afecte o viole derechos autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

México, D.F., 01 de diciembre de 2015.

Atentamente



---

Esteban Pablo Díaz

## Resumen

La formación de ingenieros requiere de la inserción en los programas de estudio, de actividades que permitan la conexión entre los conocimientos teóricos y prácticos requeridos, de tal forma, que le permitan tener un desempeño profesional competente. Es ahí donde la modelación matemática surge como un nuevo paradigma educativo, en virtud de las bondades que ofrece, al posicionar al futuro ingeniero inserto en una situación o problema que deberá resolver, vivenciando todos los factores que afectan en este proceso, para que haga uso de toda la gama de conocimientos adquiridos de forma transversal, y que mediante los ajustes a los requerimientos propios de la problemática, le permitan el desarrollo de nociones y saberes propios, que le den la capacidad y seguridad para lo toma de decisiones pertinentes.

En ese sentido, el autor del presente trabajo de investigación, se ha percatado de la necesidad de estudiar una actividad que cuenta con un gran potencial didáctico y que ha sido utilizada desde hace largo tiempo por los docentes, instituciones educativas e incluso organizaciones de profesionistas, consistente en la “Construcción de puentes a base de elementos de madera tipo abatelenguas”, toda vez que es vista como un medio para el desarrollo y la demostración de habilidades y conocimientos a diversos niveles, que van desde la educación secundaria hasta la licenciatura en ingeniería civil y otras afines, pero no ha sido sujeto de estudio para la delimitación de la actividad matemática que surge con motivo de la misma, análisis que se modelará bajo perspectiva de la Teoría Antropológica de la Didáctico (TAD), proponiéndolo como un Recorrido de Estudio e Investigación (REI), el cual es dirigido al proporcionar algunas pistas a los estudiantes, más no limitativo, pues se desarrolla fuera del aula, permitiéndoles el acceso a todas las fuentes de información que consideren pertinentes.

Los resultados del REI propuesto son analizados para determinar las diferencias entre las pretensiones plasmadas en el análisis a priori de la actividad y los resultados presentados por los equipos de estudiantes, a fin de validar las tareas propuestas o abrir la posibilidad a mejoras y adecuaciones, que favorezcan el desarrollo de conocimientos matemáticos previamente señalados.

## Abstract

Engineers' training requires activities that allow the connection between theoretical and practical knowledge, in order to allow Engineers a competent professional performance. This is where mathematical modeling emerges as a new educational paradigm for letting the future engineer to face real situations or the need to solve a problem, all by experiencing the factors that affect this process for availing the full range of knowledge acquired transversely; when students do adjustments to the specific requirements of the problem, they enable the development of their own knowledge and ideas that give them the capacity and security for the relevant decision making.

In that sense, the author of this research, has realized the need to study a didactic activity that has great educational potential and has been used for a long time by teachers, educational institutions and even organizations of professionals, consisting of "Building bridges based on wooden elements such as popsicle sticks", since it is seen as a means for development and demonstration of skills and knowledge at various levels, ranging from secondary education to civil engineering degree and other related, but this didactic activity has not been the subject of study for the delimitation of mathematical activity that arises as a result of the same analysis to be modeled on the perspective of the Anthropological Theory of Didactic (TAD), proposing it as a Path of Study and Research (REI – for the Spanish name Recorrido de Estudio e Investigación), which is aimed to provide some clues to students, but it does not limit students because it develops outside the classroom, allowing them the access to all sources of information they consider relevant.

The results of the REI proposed are analyzed to determine the differences between the claims embodied in the a priori analysis of the activity and the results presented by student teams, in order to validate the proposed tasks or open the possibility to improvements and adjustments, which encourage the development of the mathematical knowledge previously indicated

## Tabla de contenido

1	Retos y desafíos de la formación matemática del futuro ingeniero.....	15
1.1	Introducción.....	15
1.2	Modelación Matemática .....	15
1.3	Construcción de Puente a base de palitos de madera y su potencial didáctico en la formación de ingenieros civiles.....	17
1.4	Enfoques didácticos dados a la implementación de la actividad “Construcción de Puente a base de palitos de madera” .....	17
1.5	Conclusiones.....	20
2	Recorridos de Estudio y de Investigación .....	21
2.1	Introducción.....	21
2.2	El paradigma del cuestionamiento del mundo.....	21
2.3	Recorridos de Estudio y de Investigación (REI) .....	22
2.4	REI Construcción de puentes con palitos de madera .....	23
3	REI “Construcción de puentes elaborados con palitos de madera” .....	25
3.1	Introducción.....	25
3.2	Características del puente de palitos de madera .....	25
3.3	Etapa 1. Investigar sobre el concepto de puente, los tipos existentes así como sus diferentes usos, dependiendo de las condiciones del claro a cubrir, como lo haría un profesional de la ingeniería civil .....	27
3.3.1	Obras propuestas para el desarrollo del REI .....	27
3.3.2	Video “Puentes- El mundo de Beakman”, aproximación práctica de los puentes 27	
3.3.3	Video “Construcción de puentes” que presenta una aproximación teórica a los puentes .....	31
3.3.4	Conocimiento de los puentes a través de Wikipedia .....	35
3.3.5	Conocimiento de los puentes a través de una página web, aproximación teórica 38	
3.3.6	Conocimiento de los puentes a través de una página web o electrónica que presenta una aproximación práctica .....	40
3.3.7	Conocimiento de los puentes a través de una página web o electrónica que presenta una aproximación teórica y práctica.....	40
3.3.8	Conocimiento de los puentes a través de una síntesis de la información procesada que presenta una aproximación teórica .....	45

3.4	Etapa 2. Analizar, seleccionar y describir el modelo de puente a construir, considerando los conceptos obtenidos y adicionados a su conocimiento a través de la etapa 1.....	45
3.4.1	Análisis de las condiciones iniciales del accidente geográfico a salvar.....	45
3.4.2	Croquis de la estructura tipo puente seleccionada, partiendo de las necesidades geométricas determinadas por el accidente geográfico a salvar y los materiales dispuestos para la construcción física del modelo, que presenta una aproximación teórica y práctica.....	51
3.4.3	Conocimiento de la definición de armadura y el método para el cálculo de los esfuerzos en los elementos de la misma, presenta una aproximación teórica y práctica	54
3.5	Etapa 3. Construcción del modelo de puente, a partir de la descripción hecha en la etapa 2.....	60
3.5.1	Interacción de los integrantes del equipo para la planeación de la ejecución del proyecto que presenta una aproximación práctica.....	60
3.5.2	Interpretación de los datos plasmados en los croquis y/o planos ejecutivos del proyecto, que presenta una aproximación teórica y practica.....	60
3.5.3	Sugerencias para dar orientación a los estudiantes sobre los procedimientos constructivos a utilizar que presenta una aproximación práctica .....	61
3.5.4	Conocimiento del proceso constructivo a través de un video que presenta una aproximación práctica.....	61
3.5.5	Conocimiento de la prueba física (carga) a través de un video que presenta una aproximación práctica.....	62
3.5.6	Conocimiento de las exposiciones de otros estudiantes sobre sus diseños de puentes de palitos de madera antes de ser probados físicamente a través de un video que presenta una aproximación práctica.....	63
3.6	Conclusiones.....	65
4	Análisis de la secuencia didáctica implementada con los estudiantes.....	67
4.1	Introducción.....	67
4.2	Análisis de la primera etapa de la implementación de la secuencia didáctica .....	67
4.2.1	Análisis del reporte entregado por el Equipo 1 .....	67
4.2.2	Análisis del reporte entregado por el Equipo 2 .....	71
4.2.3	Análisis del reporte entregado por el Equipo 3 .....	74
4.2.4	Primera etapa del REI.....	77
4.3	Análisis de la segunda etapa de la implementación de la secuencia didáctica.....	77
4.3.1	Análisis del reporte entregado por el Equipo 1 .....	77
4.3.2	Análisis del reporte entregado por el Equipo 2 .....	85
4.3.3	Análisis del reporte entregado por el Equipo 3 .....	90

Armaduras planas .....	91
Método de las secciones para armaduras planas .....	93
4.4 Análisis de la tercera etapa de la implementación de la secuencia didáctica .....	97
4.4.1 Análisis del reporte entregado por el Equipo 1 .....	97
4.4.2 Análisis del reporte entregado por el Equipo 2 .....	98
4.4.3 Análisis del reporte entregado por el Equipo 3 .....	103
5 Conclusiones generales.....	106
6 Referencias Bibliográficas.....	109

FIGURA 1. ESQUEMA DIMENSIONADO DEL SOPORTE PARA LOS PUENTES DE PALITOS DE MADERA	19
FIGURA 3. COLOCACIÓN DE ELEMENTO CON LONGITUD SUFICIENTE PARA SALVAR EL ACCIDENTE GEOGRÁFICO	21
FIGURA 2. ACCIDENTE GEOGRÁFICO A SALVAR	21
FIGURA 5. ELEMENTOS QUE CAEN DENTRO DEL ACCIDENTE GEOGRÁFICO POR INESTABILIDAD	21
FIGURA 4. COLOCACIÓN DE DOS ELEMENTOS CON LONGITUD INSUFICIENTE PARA SALVAR EL CLARO	21
FIGURA 9. VÍA CONTINUA	22
FIGURA 8. ELEMENTO INDISPENSABLE PARA DAR CONTINUIDAD A LA VÍA	22
FIGURA 10. INSTITUCIONALIZACIÓN DEL CONCEPTO PUENTE EN VOLADIZO O MÉNSULA	22
FIGURA 11A. INSTITUCIONALIZACIÓN DEL CONCEPTO PUENTE COLGANTE	23
FIGURA 11B. IMAGEN QUE MUESTRA LA CONCEPTUALIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE COLGANTE	23
FIGURA 12A. INSTITUCIONALIZACIÓN DEL CONCEPTO PUENTE TIPO ARCO	23
FIGURA 12B. IMAGEN QUE ILUSTR LA CONCEPCIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE TIPO ARCO	23
FIGURA 13A. ILUSTRACIÓN DEL TAMAÑO REAL DE UN CABLE PRINCIPAL DE UN PUENTE COLGANTE	23
FIGURA 13B. LOCALIZACIÓN DE LOS CABLES PRINCIPALES DE UN PUENTE COLGANTE	23
FIGURA 14B. VISTA PANORÁMICA DE PUENTE TIPO VIGA	24
FIGURA 14A. ILUSTRACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DEL PUENTE TIPO VIGA	24
FIGURA 15B. VISTA INFERIOR DE LOS ELEMENTOS DE UN PUENTE TIPO ARCO	25
FIGURA 15A. VISTA PANORÁMICA DE PUENTE TIPO ARCO	25
FIGURA 16. ILUSTRACIÓN DE UN PUENTE COLGANTE	25
FIGURA 17A. CABLES PRINCIPALES DEL PUENTE COLGANTE Y SU CONFORMACIÓN	26
FIGURA 17B. TORRES Y TIRANTES EN UN PUENTE TIPO COLGANTE TIPO ARCO	26
FIGURA 17C. TORRES ANCLADAS EN ROCA U HORMIGÓN	26
FIGURA 18A. VISTA DE ESTRUCTURA DEL PUENTE COLGANTE (MUY ESBELTA)	27
FIGURA 18B. PUENTE DE TACOMA DEFORMADO POR CARGAS DE VIENTO QUE LO HICIERON ENTRAR EN RESONANCIA	27
FIGURA 18C. PUENTE DE TACOMA OSCILANDO POR CARGAS DE VIENTO QUE LO HICIERON ENTRAR EN RESONANCIA	27
FIGURA 19A. PUENTE ATIRANTADO O DE TIRANTES	27
FIGURA 19C. DOS TORRES PARA SOPORTE DE PUENTE	28
FIGURA 19B. CABLES ANCLADOS A LAS TORRES	28
FIGURA 19D. PUENTE DE TIRANTES CON UNA SOLA TORRE	28
FIGURA 20. PROCESO CONSTRUCTIVO DE UN PUENTE	33
FIGURA 21A. ACCIDENTE GEOGRÁFICO 1	34
FIGURA 21B. ACCIDENTE GEOGRÁFICO 2	34
FIGURA 21C. ACCIDENTE GEOGRÁFICO 3	34
FIGURA 21D. ACCIDENTE GEOGRÁFICO 4	35
FIGURA 22B. DESPLAZAMIENTO ILUSTRADO DE LOS EXTREMOS DE LA TIRA DE CARTÓN	35
FIGURA 22A. ARCO DE TIRA DE CARTÓN	35
FIGURA 22C. IMPEDIMENTO DE DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN LOS SOPORTES DEL ARCO	36
FIGURA 23. ILUSTRACIÓN DE ACCIDENTE GEOGRÁFICO	36
FIGURA 23A. ILUSTRACIÓN DEL CUADRO DE DIÁLOGO PARA ORIENTAR A LOS ESTUDIANTES QUE PRESENTA LA APLICACIÓN TECNOLÓGICA ACCIDENTE GEOGRÁFICO	37
FIGURA 23B. ILUSTRACIÓN DEL CUADRO DE DIÁLOGO PARA CONFORMAR LA CORRECTA DECISIÓN DE LOS ESTUDIANTES QUE PRESENTA LA APLICACIÓN TECNOLÓGICA ACCIDENTE GEOGRÁFICO	37
FIGURA 24. ILUSTRACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS NO RESTRINGIDOS	39
FIGURA 25. ESPACIO DISPUESTO PARA LA ESTRUCTURA TIPO PUENTE	39
FIGURA 26A. CABLES DE ACERO EN PUENTES COLGANTES	40
FIGURA 26B. CABLES DE ACERO EN PUENTES ATIRANTADOS	40
FIGURA 27. MOMENTO DE GIRO O VOLTEO PRODUCIDO POR LA CARGA PUNTUAL APLICADA	40
FIGURA 27A. ELEMENTOS INESTABLES QUE CAEN AL ACCIDENTE GEOGRÁFICO POR EL MOMENTO DE GIRO O VOLTEO PRODUCIDO POR SU PROPIO PESO	41
FIGURA 27B. ELEMENTOS DE ANCLAJE QUE PRODUCEN EMPOTRAMIENTO EN LOS APOYOS	41

FIGURA 27C. DESPLAZAMIENTO ANGULAR NO RESTRINGIDO POR EL TIPO DE SOPORTE	41
FIGURA 28. MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO	42
FIGURA 29A. ELEMENTO TIPO VIGA (PALMERA) SIMPLEMENTE APOYADO	42
FIGURA 29B. ESQUEMA DE ELEMENTO TIPO VIGA, SIMPLEMENTE APOYADO	42
FIGURA 29D. COMPORTAMIENTO DE LAS FIBRAS INTERNAS DE UN ELEMENTO SIMPLEMENTE APOYADO	43
FIGURA 29C. DEFORMACIÓN DE UNA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA	43
FIGURA 30A. ELEMENTO TIPO ARCO SIN RESTRICCIÓN LATERAL	43
FIGURA 30B. DESPLAZAMIENTOS NO RESTRINGIDOS	43
FIGURA 30C. RESTRICCIONES AL DESPLAZAMIENTO LATERAL	43
FIGURA 30E. ESTRUCTURACIÓN PARA TRANSMISIÓN DE CARGAS AL ARCO	44
FIGURA 30D. FUNCIONAMIENTO A COMPRESIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL ARCO	44
FIGURA 31. ESPACIO DISPONIBLE PARA LA ESTRUCTURA TIPO PUENTE	45
FIGURA 31A. CARGA PUNTUAL DE PRUEBA	45
FIGURA 31B. EJE CENTRAL DE LA ESTRUCTURA	46
FIGURA 31C. APLICACIÓN DE CARGA PUNTUAL A LA ESTRUCTURA	46
FIGURA 31E. CARGAS COINCIDENTES EN LOS NUDOS DE LA ESTRUCTURA	46
FIGURA 31D. ELEMENTOS DE MADERA TIPO ABATELENGUAS	46
FIGURA 32A. ESQUEMA BIDIMENSIONAL ELABORADO A MANO ALZADA	47
FIGURA 32B. ESQUEMA BIDIMENSIONAL ELABORADO MEDIANTE PROGRAMAS COMPUTACIONALES	47
FIGURA 32D. ESQUEMA TRIDIMENSIONAL ELABORADO MEDIANTE APLICACIONES COMPUTACIONALES	47
FIGURA 32C. ESQUEMA BIDIMENSIONAL DE CONFIGURACIÓN DE ARMADURA DIFERENTE	47
FIGURA 33. ARMADURA RÍGIDA	48
FIGURA 33C. ARMADURA SIMPLE CON MÁS ELEMENTOS	48
FIGURA 33B. ARMADURA SIMPLE	48
FIGURA 33A. ARMADURA TRIANGULAR RÍGIDA	48
FIGURA 33B. ARMADURA SIMPLE	49
FIGURA 34B. PROTOTIPOS DE ARMADURA SIMPLE PARA TECHUMBRES ESTANDARIZADOS CON BASE EN LA EXPERIENCIA	49
FIGURA 34A. PROTOTIPOS DE ARMADURA SIMPLE PARA PUENTES ESTANDARIZADOS CON BASE EN LA EXPERIENCIA	49
FIGURA 34D. ELEMENTOS SUJETOS A COMPRESIÓN	50
FIGURA 34C. ELEMENTOS SUJETOS A TENSIÓN	50
FIGURA 35A. ARMADURA PROPUESTA PARA ANÁLISIS POR EL MÉTODO DESCRITO	51
FIGURA 35B. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE (DCL)	51
FIGURA 35C. CÁLCULOS PARA DETERMINACIÓN DE REACCIONES EN LOS SOPORTES DE LA ARMADURA	52
FIGURA 35C. CÁLCULOS PARA DETERMINACIÓN DE FUERZAS CONCURRENTES EN EL NUDO B	52
FIGURA 35D. CÁLCULOS PARA DETERMINACIÓN DE FUERZAS CONCURRENTES EN EL NUDO B	52
FIGURA 36. SUGERENCIAS PARA LOS PROCEDIMIENTOS DE FABRICACIÓN DEL MODELO	54
FIGURA 37B. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO 2. CONFORMACIÓN DE ARMADURA GEMELA	54
FIGURA 37A. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO 1. CONFORMACIÓN DE ARMADURA	54
FIGURA 37C. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO 3. APLICACIÓN DE PRESIÓN PARA MEJORAR ADHERENCIA	55
FIGURA 37D. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO 4. APLICACIÓN DE ADHESIVO	55
FIGURA 38B. APLICACIÓN DE CARGA PUNTUAL PARA SU PRUEBA FÍSICA	55
FIGURA 38A. COLOCACIÓN DEL MODELO EN LA PRENSA HIDRÁULICA PARA SU PRUEBA FÍSICA	55
FIGURA 38C. APLICACIÓN DE CARGA PUNTUAL PARA SU PRUEBA FÍSICA (DEFORMACIÓN VERTICAL)	56
FIGURA 38D. REGISTRO DE CARGA DE FALLA DE LA ESTRUCTURA	56
FIGURA 39A. DISEÑOS PRELIMINARES ANTES DE REALIZAR EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	56
FIGURA 39B. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LOS DISEÑOS PRELIMINARES	56
FIGURA 39D. DISEÑOS DEFINITIVOS CON FUNDAMENTO EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	56
FIGURA 39C. DISEÑOS DEFINITIVOS CON FUNDAMENTO EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	56
FIGURA 39F. PROCESOS CONSTRUCTIVOS 2	57
FIGURA 39E. PROCESOS CONSTRUCTIVOS 1	57
FIGURA 39G. PROCESOS CONSTRUCTIVOS 3	57

FIGURA 39H. PRUEBA FÍSICA DE LOS MODELOS	57
FIGURA 39J. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE FALLA	57
FIGURA 39I. REDISTRIBUCIÓN DE CARGAS ANTES DE LA FALLA	57
FIGURA 40. BOSQUEJO DE LA PROPUESTA DEL EQUIPO 1	71
FIGURA 41. DIAGRAMAS DE CUERPO LIBRE (1), DE ESFUERZO CORTANTE (2) Y DE MOMENTOS (3), DE UNA VIGA DOBLEMENTE EMPOTRADA, SUJETA A UNA CARGA PUNTUAL AL CENTRO DEL CLARO	72
FIGURA 43. FUERZA DE COMPRESIÓN	73
FIGURA 42. FUERZA DE TENSIÓN	73
FIGURA 44. DIAGRAMA INDICATIVO DE LOS NÚMEROS ASIGNADOS A LOS NODOS. (EQUIPO 1, SEGUNDO REPORTE, P.4)	73
FIGURA 45 (INDICATIVA). RESULTADOS DE LAS DEFORMACIONES DE LOS NUDOS 1 A 21 DE LA ESTRUCTURA PROPUESTA, ANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA. (EQUIPO 1, SEGUNDO REPORTE, P.4)	74
FIGURA 46. DEFORMACIÓN DE LA ARMADURA PROPUESTA ANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA. (EQUIPO 1, SEGUNDO REPORTE, ANEXO C1)	75
FIGURA 47. ESFUERZOS AXIALES DE LOS MIEMBROS DE LA ARMADURA PROPUESTA ANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA. (EQUIPO 1, SEGUNDO REPORTE, ANEXO C2)	75
FIGURA 48. ESFUERZOS A TENSIÓN MÁXIMOS DE LOS MIEMBROS DE LA ARMADURA PROPUESTA ANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA. (EQUIPO 1, SEGUNDO REPORTE, ANEXO C3)	75
FIGURA 49. VIGA O ESTRUCTURA SIMPLEMENTE APOYADA	75
FIGURA 50.- DISTRIBUCIÓN DE CARGA PUNTUAL A TRAVÉS DE UN ARCO	77
FIGURA 51. BOSQUEJO DEL MODELO SELECCIONADO “PLANO”	77
FIGURA 52. CROQUIS DE LA ARMADURA PROPUESTA, SIGNIFICANDO EN COLORES LOS ESFUERZOS A LOS QUE SE SOMETEN SUS ELEMENTOS ANTE LA APLICACIÓN DE DOS CARGAS PUNTUALES SIMÉTRICAMENTE APLICADAS	80
FIGURA 54. CONTINUACIÓN DE CÁLCULOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE NUDOS PARA LA ESTRUCTURA PROPUESTA	80
FIGURA 53. CÁLCULOS UTILIZANDO EL MÉTODO DE NUDOS PARA LA ESTRUCTURA PROPUESTA	80
FIGURA 56. VISTA TRANSVERSAL ACOTADA EN CM DE LA ESTRUCTURA	81
FIGURA 55. VISTA LONGITUDINAL ACOTADA EN CENTÍMETROS DE LA ESTRUCTURA PROPUESTA	81
FIGURA 57. MEDIDAS DEL ELEMENTO DE MADERA TIPO ABATE LENGUAS A UTILIZARSE	81
FIGURA 58. VISTA TRANSVERSAL COMPLETA	81
FIGURA 59. VISTAS TRIDIMENSIONALES BLANCO Y NEGRO	82
FIGURA 61.- VISTAS TRIDIMENSIONALES EN DIFERENTES TONALIDADES	82
FIGURA 60. VISTA TRIDIMENSIONAL A COLOR	82
FIGURA 62. CRITERIO DE ESTABILIDAD DE LA ARMADURA PLANA	84
FIGURA 63. FIGURA ILUSTRATIVA DE ARMADURAS EN EL ESPACIO	85
FIGURA 64. CONVENCIONALISMOS UTILIZADOS EN EL MÉTODO DE NUDOS	85
FIGURA 65. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE INDICANDO LAS COTAS PRINCIPALES DE SU DISEÑO	86
FIGURA 66. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS REALIZADO POR EL MÉTODO DE NUDOS PARA LA ARMADURA PROPUESTA	87
FIGURA 67. CÁLCULOS REALIZADOS CON EL MÉTODO DE NUDOS, CON CROQUIS INDICATIVOS. PARTE 1	88
FIGURA 71. FOTOGRAFÍA DEL EQUIPO 1, PRESENTANDO SU MODELO DE PUENTE	90
FIGURA 72. PROCESO DE PESADO DEL MODELO PRESENTADO POR EL EQUIPO 1	91
FIGURA 73. MARCO RÍGIDO O TIPO PÓRTICO	92
FIGURA 74. USO TÍPICO DE LOS MARCOS RÍGIDOS O PÓRTICOS EN NAVES INDUSTRIALES	92
FIGURA 75. USO TÍPICO DE LOS MARCOS RÍGIDOS EN EDIFICACIONES MULTINIVELES	92
FIGURA 76.- DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LOS MIEMBROS DE UN MARCO RÍGIDO	92
FIGURA 77. REALIZACIÓN DE CORTES DE ELEMENTOS DE MADERA TIPO ABATE LENGUAS	93
FIGURA 78. REALIZACIÓN DE CORTES CON ÁNGULO DE INCLINACIÓN PARA LOGRAR UN BUEN ENSAMBLAJE ENTRE LAS PIEZAS	93
FIGURA 79. PEGADO Y CONFORMACIÓN DE PIEZAS	93

FIGURA 80. PROCESO PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA ADHERENCIA ENTRE ELEMENTOS DE MADERA	93
FIGURA 82. ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL MODELO DE PUENTE TERMINADA	93
FIGURA 81. USO DE HERRAMIENTAS ESPECIALES (TORNILLO DE BANCO) PARA LA UNIÓN DE SECCIONES	93
FIGURA 85.- MODELO DE PUENTE TERMINADO CONSTRUIDO POR EL EQUIPO 2	95
FIGURA 86. PROCESO PARA ASEGURAR LA ADHERENCIA, CONFORMADO E INTEGRACIÓN ENTRE LAS PIEZAS DEL MODELO. VISTA A	97
FIGURA 87. PROCESO PARA ASEGURAR LA ADHERENCIA, CONFORMADO E INTEGRACIÓN ENTRE LAS PIEZAS DEL MODELO. VISTA B	97
FIGURA 88. MODELO DE PUENTE TERMINADO ELABORADO POR EL EQUIPO 3	98
FIGURA 89.- PROCESO DE PESADO DEL PUENTE ELABORADO POR EL EQUIPO 3	98

# Introducción general

Ser ingeniero es ser creador de un mejor nivel de vida, dando soluciones óptimas a las problemáticas, partiendo de su génesis, realizando un análisis profundo de sus causas, desarrollando tecnologías que sean el producto de un conocimiento propio, que permitan reinventar los caminos hacia la evolución de la humanidad.

Por ello, la formación del futuro ingeniero es trascendental y requiere de medios para establecer conexión entre los conocimientos técnico-teóricos adquiridos en el aula, los cuales son producto de la transposición que el sistema educativo ha hecho de éstos; aislando al ingeniero de los elementos que les dieron origen, creando fuertes barreras para su movilización hacia su práctica profesional. Es necesario que el futuro ingeniero se involucre en la resolución de problemáticas que lo acerquen al ejercicio de actividades que tendrá que desarrollar en el día a día como profesional, vivenciando la gran diversidad de factores que afectan a las mismas, haciendo uso de las áreas de conocimiento de forma transversal para que haga los ajustes necesarios, generando así un saber propio, que le dé los elementos para proponer soluciones pertinentes y seguridad en la toma de decisiones que esto implica.

En ese orden de ideas, el ponente del presente trabajo de investigación, quien cuenta con una trayectoria de más de 20 años en el campo del diseño y construcción de obras de infraestructura, ha identificado una actividad que sitúa a los estudiantes en condiciones de necesidad por encontrar respuestas a una problemática propuesta, la cual consiste en la “Construcción de un puente a base de elementos de madera tipo abatelenguas”, actividad que, dependiendo de las condiciones en que se plantee, les lleva a crear una solución innovadora, adaptada a los requerimientos particulares de la misma, poniendo en juego todo el bagaje de saberes adquiridos, tanto en su vida cotidiana como en la académica, facilitando su validación mediante la fabricación de un modelo físico matemático que debe cumplir con los supuestos teóricos, en los que se apuntala su diseño, y sobre todo, promoviendo la interconexión tan deseada entre la teoría y la práctica, instituyendo un “expertise” que podrá movilizar hacia su campo profesional, con lo que queda manifestado su amplio potencial didáctico.

De esta forma, en el Capítulo 1 de este escrito, se aborda el concepto de Modelación Matemática, como un nuevo paradigma para la formación de ingenieros. Desde tiempos ancestrales, los hombres de ciencia han hecho uso de la observación y experimentación, para el desarrollo de teorías, técnicas y tecnologías, que son validadas a través de los resultados obtenidos de su comparación y/o aplicación en un prototipo que refleje la realidad, lo que les ha permitido re estructurar sus ideas, proponer mejoras, ajustar saberes y lograr la evolución del concepto estudiado. Sin embargo, con la transposición de contenidos para su enseñanza en el aula, esta parte se ha perdido, se aísla al estudiante de la génesis del problema, y se le presentan una serie procedimientos como recetas de cocina, tornando el aprendizaje de las matemáticas, en una experiencia sin vida y ajena a su realidad.

Afortunadamente, profesores investigadores e instituciones educativas han percibido esta necesidad, y han dado a la Modelación Matemática un lugar preponderante en el aprendizaje de esta área de conocimiento, al grado que actualmente existen estudios de Licenciatura y Posgrado en esta especialidad, impartidas por diversas academias a nivel

mundial, incluidas algunas Mexicanas, además de diversos congresos y conferencias que se realizan a nivel internacional, en los que México es un asiduo participante, como se percibe de la información presentada en este apartado.

Posteriormente, se presentan los diversos enfoques didácticos que se han propuesto mediante el desarrollo de esta actividad, por diversos grupos académicos y profesionales de la ingeniería, así como los fines que se pretenden de la implementación de la misma. Igualmente se proporcionan fuentes de información desarrolladas por diversos grupos del gremio, entre las que se cuenta con manuales, guías, videos, entre otras, sobre la Construcción de Puentes de Palitos de Madera, como una muestra del gran interés que genera esta actividad.

En el capítulo 2, se presenta el sustento teórico de la Investigación en trato, dando luz sobre los elementos que constituyen un Recorrido de Estudio de Investigación (REI), que básicamente se fundamenta en una estructura de preguntas y respuestas, y la adaptación del dispositivo didáctico “Construcción de puentes de palitos de madera” a dicha estructura, con el propósito de estudiar cómo puede ser parte de la Modelación Matemática, como nuevo paradigma educativo, examinado desde la perspectiva de la Teoría Antropológica de lo didáctico, para observar el desarrollo de los estudiantes.

Consecuentemente, en el capítulo 3 de este estudio, se presenta la propuesta para la implementación del Recorrido de Estudio e Investigación (REI) “Construcción de puente a base de elementos de madera tipo abateleguas” haciendo el planteamiento de la cuestión inicial y las subsecuentes, describiendo las condiciones iniciales y las etapas que lo conforman, analizando detalladamente las tareas que integran las diferentes etapas desde un enfoque didáctico, que permita al lector formarse un criterio propio de las razones de la propuesta, y que proporcione los elementos para una confrontación con los resultados obtenidos de la actividad de los estudiantes.

El capítulo 4 muestra el trabajo desarrollado por los estudiantes para alcanzar el objetivo fijado, guiados mediante una propuesta de tareas, indicativas más no limitativas, que les permitieran establecer puntos de referencia en la ejecución del proyecto, con la finalidad de que dejarán huellas de la actividad realizada, y poder dar seguimiento de los REI's propuestos por los futuros ingenieros, los cuales son analizados para determinar la actividad matemática que se generó, comparándola con la esperada y que fue plasmada en el capítulo 3.

Las conclusiones generales de esta investigación son presentadas en el capítulo 6, en donde se proporciona la información obtenida, vista desde una perspectiva global, delimitando la actividad matemática desarrollada por los estudiantes, así como los posibles campos de formación o asignaturas en las que se pudiera insertar este REI, con las adecuaciones pertinentes a los objetivos propios de las mismas.

Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las referencias bibliográficas, utilizadas en el desarrollo de esta investigación.

El que escribe, espera que la información presentada sirva de fundamento e inspiración a otros investigadores, que se interesen en el desarrollo de Recorridos de Estudio e Investigación que puedan ser insertados en el marco de la Modelación Matemática, para la formación de futuros ingenieros que procuren una mejor calidad de vida en las generaciones venideras.

# Capítulo I

## 1 Retos y desafíos de la formación matemática del futuro ingeniero

---

### 1.1 Introducción

Observar y experimentar son las actividades primordiales que han utilizado aquellos quienes promueven la ciencia, para el desarrollo de teorías, técnicas y tecnologías, las cuales son validadas mediante la confrontación con la realidad, o bien, con elementos que la semejen, proponiendo innovaciones que repercuten en calidad de vida.

La transposición de los conocimientos matemáticos para ser enseñados de forma tradicional en el aula, aísla al estudiante del contacto con la problemática, sus orígenes, sus causas, es decir, de la naturaleza del problema y de la necesidad a satisfacer, promoviendo el uso de procedimientos sistematizados para la resolución de algoritmos, que pueden resultar muy complejos y especializados, pero que a los ojos del estudiante no describen nada. Es necesario entonces que la enseñanza de las matemáticas cobre vida, mediante actividades que le den sentido, que sean parte de su entorno y que permitan al futuro ingeniero, confrontar los conocimientos académicos con la realidad, para que desarrolle saberes fundamentados y especializados, producto de la fusión de la teoría con la práctica, que puedan ser movilizados hacia diferentes situaciones y que desarrollen las competencias requeridas en el mundo profesional.

A raíz de esta necesidad, ha surgido la modelación matemática como un nuevo paradigma educativo, toda vez que cuenta con las características necesarias para desarrollar las habilidades requeridas por un profesional de la Ingeniería en sus diversas áreas.

### 1.2 Modelación Matemática

La modelación matemática es una necesidad en la vida diaria, hacer una descripción del mundo que nos rodea en términos de las matemáticas permite conocer el pasado y prever los resultados y consecuencias futuros de las decisiones que tomamos, para de esta forma, prospectar caminos de solución que promuevan la evolución en el campo de las tecnologías hacia la mejora de la condición de vida humana, aprovechando las bondades y riquezas del mundo que rodea, por que por alguna extraña razón, la naturaleza ha escogido a las matemáticas como el lenguaje para expresarse.

A partir de la época de los egipcios y culturas contemporáneas, el uso de las matemáticas en la vida diaria ha resultado de mucha utilidad. Desde la medición de la tierra hasta las grandes construcciones. Sin embargo, en la llamada enseñanza tradicional las clases de matemáticas se volvieron aburridas y llenas de “recetas de cocina” para hacer ejercicios.

El uso de “problemas de la vida real” en el salón de clase abrió un gran abanico de oportunidades para los estudiantes, ahora se podía conjeturar para qué se podían utilizar esas matemáticas. Ahora bien, la Modelación Matemática ha cobrado mucha importancia

en nuestros días, al grado que ahora existen estudios a nivel universitario como la Licenciatura en Modelación Matemática de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México cuyo propósito general es

Formar profesionales altamente calificados en el desarrollo y/o adaptación de modelos matemáticos, numéricos y computacionales, que les permitan dialogar e interactuar con colegas de otras disciplinas, para analizar usando la metodología y el lenguaje matemático y computacional, problemas y situaciones provenientes de las ciencias de la naturaleza, las ciencias sociales y las ingenierías, así como formular propuestas o estrategias de solución, basadas en su formación y en el trabajo interdisciplinario, donde la innovación, la actitud crítica y la capacidad de adaptación sean las constantes del ambiente donde el egresado desempeñará su profesión. (Universidad Autónoma de la Ciudad de México, s.f.)

O un solo ejemplo en el extranjero en la Technical University of Denmark que presenta su programa Mathematical Modelling and Computation, cuyo objetivo es

The study programme offers courses at a high academic level, providing you with extensive knowledge of applied mathematics and mathematical modelling as well as modern computer equipment and analysis of large data volumes. (Technical University of Denmark, s.f.)

Es decir, “El programa ofrece cursos a un alto nivel académico, proporcionándote un extenso conocimiento de las matemáticas aplicadas y de la modelación matemática al igual que los modernos equipos de cómputo y el análisis de grandes volúmenes de datos”

También se encuentran programas de posgrado como la maestría Mathematical Modelling MSc ofrecida por la University College of London – London’s Global University (University College of London – London’s Global University, s.f.). O programas de doctorado como el Doctorado en Modelación Matemática ofrecido por la Universidad Tecnológica de la Mixteca cuyos objetivos son:

Formar investigadores de alto nivel académico, con conocimientos sólidos tanto en Matemáticas y con especial énfasis en Matemáticas Aplicadas; que sean capaces de realizar investigación original de manera independiente e interdisciplinaria, particularmente en el área de Modelación Matemática aplicada al sector productivo y de servicios; además que logren la habilidad de tener un alto grado de análisis en el planteamiento de problemas complejos y de síntesis en la propuesta de soluciones factibles y viables. (Universidad Tecnológica de la Mixteca, s.f.)

Y en otros lugares del mundo podemos encontrar programas de doctorado como el

PhD Mathematical Models and Methods in Engineering ofrecido por el Departamento de Matemáticas del Politecnico Di Milano (PHDPortal, s.f) y el PhD Modelling and Computational Science ofrecido por el Institute of Technology de la University of Ontario (University of Ontario, s.f.)

Otro ámbito donde se observa la importancia de la modelación matemática es en las reuniones académicas, pues en ellas se presentan diferentes trabajos relacionados con la

modelación matemática y la formación de ingenieros. Como el *Topic Study Group 21 Mathematical applications and modelling in the teaching and learning of mathematics, perteneciente al International Congress on Mathematical Education*.

La XIV Conferencia Interamericana de Educación Matemática celebrada en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; contó con presentaciones relacionadas con estos temas. Al igual que la Reunión Latinoamericana de Matemática Educativa, que en sus diversas versiones ha contenido conferencias relacionadas a este tema.

Por lo anterior es que consideramos que la Modelación Matemática es un tema importante en la formación de ingenieros, y que una actividad didáctica que la involucre puede ser importante para los estudiantes de carreras de ingeniería.

### 1.3 Construcción de Puente a base de palitos de madera y su potencial didáctico en la formación de ingenieros civiles

En este contexto, una tarea ampliamente recurrida en diversos niveles educativos, que van desde la educación secundaria hasta la licenciatura, es el uso de estructuras tipo puente, utilizando modelos pre-diseñados por los docentes, que permiten estudiar su comportamiento y el desempeño de sus componentes ante la aplicación de diferentes tipos de carga, hasta el desarrollo de proyectos integrales, que incluyen el diseño teórico y la posterior construcción de prototipos sujetos a condiciones de soporte y carga pre establecidas o ya existentes, para ser probados físicamente, tal como lo haría un ingeniero civil especialista en el diseño estructural y en construcción.

Desde el punto de vista del estudiante, esta actividad constituye un reto que le permite probarse a sí mismo, y que le da la oportunidad de acercarse a su práctica profesional en un entorno que confrontará los saberes técnicos adquiridos teóricamente con los resultados obtenidos en la práctica, además del desarrollo de otras habilidades, entre las que se pueden distinguir el liderazgo, la toma de decisiones y el trabajo en equipo, lo que conformará un cúmulo de conocimientos integrales que dan formación a un profesional competente de la ingeniería civil, capaz de proponer soluciones pertinentes e innovadoras a las problemáticas que estudien.

Por otro lado, el docente e incluso asociaciones de profesionales han hecho uso de esta actividad de muy diversas formas, con la finalidad de desarrollar tanto conocimientos matemáticos visibles, entendiéndose como los métodos, procedimientos y algoritmos pertinentes a la solución de problemáticas específicas, como los no visibles, consistentes en nociones que orienten al estudiante en la generación de propuestas de solución, así como para la toma de decisiones pertinentes y eficaces, por lo que esta actividad se considera de gran potencial didáctico, el cual debe ser explotado para el desarrollo de futuros ingenieros civiles.

### 1.4 Enfoques didácticos dados a la implementación de la actividad “Construcción de Puente a base de palitos de madera”

Para establecer los antecedentes de este trabajo se realizó una búsqueda de proyectos, concursos y actividades relacionadas con la construcción a escala de puentes de palitos de madera. La búsqueda se realizó en revistas especializadas y memorias de congresos, al

igual que en blogs y páginas web en general. Los resultados arrojaron muchas fuentes informales pero no así recursos en fuentes formales.

Uno de los primeros hallazgos radica en el enfoque dado por diversos programas académicos (de diferentes niveles) que han experimentado con concursos de construcción de palitos de madera como parte de las actividades académicas asignadas o propuestas a sus estudiantes (Enfoque Noticias, 2015; Instituto Tecnológico de Matamoros, s.f.; Ocadiz, 2015; Professional Engineers and Geoscientist of BC., 2015; Universidad Autónoma del Estado de México [UAEM], 2013; Universidad Politécnica de Tulancingo [UPT], 2015; Puentes de palitos de madera súper resistentes y fósiles fascinaron al público en el stand de la Facultad de Ingeniería de la UACH, 2013; Puentes construidos con palillos de helado que aguantan casi mil kilos, 2013).

Entre las instituciones que realizan este tipo de concursos se cuenta la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Politécnica de Tulancingo, la Universidad Autónoma de Chihuahua, la Universidad Autónoma del Estado de México, el Instituto Tecnológico de Matamoros, la Universidad Miguel Hernández en Elche, España, etc.

Algunos de esos programas académicos mencionan diferentes razones para realizar el concurso sin embargo algunas de ellas son comunes, entre otras están

- Desarrollar competencias profesionales (UPT, 2015; Ocadiz, 2015; UAEM, 2013; Enfoque Noticias, 2015; TryEngineering, s.f.b)
- Motivar el sentido del ingenio(UPT, 2015; Ocadiz, 2015)
- Fomentar el trabajo en equipo (UPT, 2015; Ocadiz, 2015, TryEngineering, s.f.b)
- Motivar el estudio de la aplicación de la ingeniería estructural (UAEM, 2013; Enfoque Noticias, 2015, TryEngineering, s.f.b)
- Aprender sobre el diseño en ingeniería (TryEngineering, s.f.b)
- Resolver problemas (TryEngineering, s.f.b)

Por lo que puede decirse que la construcción de puentes con palitos de madera es vista como una actividad que acerca a los estudiantes con lo que será su actividad profesional cuando estén laborando en esta área.

Desde el punto de vista de asociaciones profesionales esta es una actividad bien vista pues varias de ellas participan en la convocatoria y organización de esos concursos como la Asociación Nacional de Estudiantes de Ingeniería en México, la Professional Engineers and Geoscientist of BC, la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, la Association of Professional Engineers and Geoscientist y la IEEE entre otras.

Es tal el interés en este tipo de actividades y concursos que se puede encontrar una gran cantidad de fuentes de información sobre la construcción de puentes. Algunas de ellas corresponden a los manuales y guías generadas por los mismos organizadores de los concursos (Schnell, 2008; TryEngineering, s.f.b), o a entusiastas de la ingeniería y la construcción (Cómo construir un puente a escala usando palillos, s.f.; Cómo construir un puente de palitos de helado que soporte 50 libras (22 kg), s.f.).

Adicionalmente puede encontrarse videos sobre concursos realizados en diferentes lugares del mundo, por ejemplo

- Concurso de puentes de palitos de madera 2015 (TvRed DGIE-BUAP, 2015, marzo 25)
- X Concurso BBK de Maquetas de puentes de Ingenieros Bilbao (HaCkIS2, 2011, agosto 5), en el que no sólo se observa el concurso sino también el proceso de construcción.
- XI Concurso Interuniversitario De Puentes De Madera (15 Toneladas!!!) (Partida, 2011, mayo 4) en el que se observa al puente ganador que resistió alrededor de 15 toneladas.
- Concurso Puentes De Madera UNAM 2010 Arcos Rampantes (Luna, 2011, abril 18).
- 9no. Concurso Facultad de Ingeniería UNAM (Romero, 2010, julio 12)

Videos sobre la construcción de puentes con palitos de madera, por ejemplo

- Construcción puente con palitos de paleta (Premium2999, 2009, diciembre 12), en el que se puede observar el ensaye de puente de palitos de madera de la Universidad Autónoma de Querétaro que soportó una carga aproximada de 400kg.
- Puente De Palitos De Madera (Barrios, 2013, abril 16)
- Puente de palitos de madera OlimpiAneic (Sección Estudiantil, 2009, junio 5), en el que se observa a estudiantes del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería de la Universidad de Guadalajara con la propuesta de puente que construyeron
- Construcción Puente Y Pruebas Resistencia (Herrera, N. M., 2013, noviembre 30)

Y también videos sobre pruebas realizadas a puentes de madera, por ejemplo

- Puentes con palitos de madera. Prueba de rigidez. 1º edificación UEMC. 30.3.2011 (viole492, 2011, marzo 30) con estudiantes de la Universidad Europea Miguel de Cervantes que es una universidad española.
- Este Puente Aguanta 106kg Y Solo Esta Hecho De Palitos De Madera (618rinox, 2011, mayo 5) que muestra las pruebas realizadas a puentes durante el XI Concurso Interuniversitario De Puentes De Madera bajo la supervisión de miembros del Club de Estudiantes del Colegio de Ingenieros Civiles de México
- Puente que soporto 2350kg Facultad de Ingeniería UNAM (Romero, 2010, julio 12)

El resultado que arroja esta búsqueda es que la actividad de construcción de puentes utilizando palitos de madera es considerada por grupos académicos y asociaciones de profesionales de la ingeniería como un proceso importante que les permite a los estudiantes poner en práctica los conocimientos adquiridos en el aula al mismo tiempo que los ayuda a desarrollar algunas de las diferentes competencias que debe tener todo ingeniero.

## 1.5 Conclusiones

La modelación matemática es una actividad que cuenta con muchos atributos para el desarrollo de competencias requeridas en el mundo profesional del Ingeniero Civil. Mediante este tipo de experiencias, el estudiante conjunta una serie de saberes que ha adquirido a través de su vida cotidiana y académica, lo que promueve el surgimiento de un conocimiento propio; que le posibilita para la realización de evaluaciones de las problemáticas de forma analítica y fundamentada, así como la proposición de soluciones pertinentes y eficaces a las mismas.

En la actualidad existe un campo de investigación muy amplio en este sentido, lo que evidencia el gran interés que existe por esta disciplina, como detonadora de habilidades y competencias en los futuros ingenieros, capacitándolos para la emisión de opiniones y propuestas innovadoras hacia el desarrollo de tecnologías que promuevan una mejor calidad de vida de los seres humanos.

En el caso específico de los ingenieros civiles, desde hace muchos años, investigadores, profesores e incluso las asociaciones de profesionales, han promovido el diseño y la construcción de puentes a partir de palitos de madera como una actividad relevante para el desarrollo de las habilidades y competencias requeridas en el campo de aplicación de esta área de conocimiento.

Esta actividad logra un verdadero compromiso del estudiante de ingeniería civil con su prototipo, al constituirse éste, en una muestra clara de su capacidad y conocimientos, poniendo en juego durante su desarrollo, todos los saberes que han acumulado tanto en el aula como fuera de ella, tanto en el área de matemáticas, como las transversales, entre las que se encuentran la estática y el diseño estructural, entre otras, lo que favorece su apropiación y la generación de elementos ajustados a la práctica de las actividades que desarrollará en el mundo real.

Es por lo antes expuesto que el autor considera que el futuro Ingeniero Civil, debe incluir la modelación de una estructura tipo puente elaborada a base de palitos de madera, aprovechando todo el potencial didáctico que contiene, formando así las nociones y conocimientos transversales requeridos en su práctica profesional, la cual será analizada en este trabajo de investigación, desde la perspectiva de la Teoría Antropológica de lo Didáctico (TAD).

# Capítulo II

## 2 Recorridos de Estudio y de Investigación

### 2.1 Introducción

Los Recorridos de Estudio y de Investigación (REI, en adelante) constituyen una nueva propuesta educativa, que se enmarca en el nuevo paradigma educativo, “Cuestionamiento del mundo”. Este paradigma busca contrariamente al paradigma tradicional “Visita de las obras” que los estudiantes y el profesor constituyan un grupo de estudio que aborden cuestiones. Se busca así que las actividades de investigación lleguen al aula, que los estudiantes puedan generar en conjunto recorridos para abordar dichas cuestiones a través de diferentes rutas investigativas. El rol del profesor es el de guía, que conduce el estudio. Consideramos que las características del REI que aquí presentamos permitirán adaptar el dispositivo didáctico, construcción de puentes de madera con palitos tipo abate lenguas a esta estructura didáctica de cuestiones y respuestas. Esto con el objetivo de mirar cómo este dispositivo puede ser parte de este paradigma y de analizar con las herramientas de la Teoría Antropológica de lo Didáctico, el desarrollo de los estudiantes.

### 2.2 El paradigma del cuestionamiento del mundo

Con el objetivo de presentar el paradigma del cuestionamiento del mundo y los REI, consideramos el trabajo de Chevallard (2013). En esta investigación Chevallard primeramente precisa lo didáctico de la siguiente manera.

Lo didáctico es una dimensión vital de las sociedades humanas. De forma ligeramente simplificada, se puede decir que se compone de una serie heterogénea de situaciones sociales en las que alguna persona hace algo —o incluso manifiesta una intención de hacerlo— con el fin de que alguna persona pueda “estudiar” —y “aprender” — algo. Lo didáctico es una dimensión vital de las sociedades humanas. De forma ligeramente simplificada, se puede decir que se compone de una serie heterogénea de situaciones sociales en las que alguna persona hace algo —o incluso manifiesta una intención de hacerlo— con el fin de que alguna persona pueda “estudiar” —y “aprender” — algo. Este algo que va a ser estudiado (y aprendido) se conoce como la *apuesta didáctica* de la situación (traducción del término francés “*enjeu didactique*”) (Chevallard, 2013, p.162)

Una vez definido lo didáctico se precisa la tripleta didáctica (X, Y, O), reconociendo que X es el grupo de estudiantes, donde cada  $x$  es un estudiante, Y, es el profesor o el grupo de profesores que guía el estudio de una obra O. Notemos que Chevallard se refiere a lo didáctico de manera general, sin considerar alguna disciplina, sino buscando mostrar qué es lo está en el centro de la actividad de enseñanza y aprendizaje. En este caso, nuestra apuesta didáctica es que los estudiantes aprendan a construir un puente “simulado” siguiendo un proceso lo más parecido a lo que es la construcción de un puente real. Decimos lo más parecido, reconocimiento que ellos no se enfrentarán a un contexto real de construcción, no decidirán el tipo de materiales, ni deberán considerar las normas de construcción. Por el

contrario, el tipo de material elegido es un elemento que debe ser considerado para la construcción del puente así como las actividades de investigación y de estudio asociadas a esta construcción. Estudiar cómo construir este puente se convierte en la obra que el grupo de estudiantes  $X$  y el profesor  $Y$  (no hay equipo de profesores) van a estudiar conjuntamente.

Antes de introducir el paradigma del “Cuestionamiento del mundo”, Chevallard describe el paradigma tradicional dominante en las actuales formaciones, como el de la “Visita de las obras”, donde los conceptos, técnicas y procedimientos son presentados como obras terminadas. Así, los estudiantes son invitados a observar y “admirar estas obras” sin poder realmente apreciar su razón de ser ni la forma en que éstas se construyen. Una visita a las obras matemáticas o de la biología, teniendo un rol de espectador que puede admirar pero no cuestionar y saber cómo éstas se constituyen, se desarrollan, evolucionan e incluso pierden vigencia. En este nuevo paradigma, la educación no es un proceso que tiene lugar en la escuela sino que se desarrolla a lo largo de la vida, no se busca saber qué es lo que la gente sabe sino lo que la gente puede aprender y cómo. Así para aprender algo acerca de una obra  $O$ ,  $x$  tiene que estudiar  $O$ , con la ayuda de algunos  $y$ . Es interesante la idea de que “ $y$ ” puede ser un conjunto, aunque quizá en la escuela sea el menor de los casos, al menos al mismo tiempo. Es decir, en general hay un “ $y$ ” que puede estar guiando el estudio y no algunos “ $y$ ”. Así este nuevo paradigma puede definirse de la siguiente manera:

Lo que el nuevo paradigma didáctico tiene como objetivo es crear un nuevo *ethos* cognitivo en el cual, cuando surge alguna cuestión  $Q$ ,  $x$  la tome en cuenta y, cuando sea posible, empiece su *estudio* con el objetivo de aportarle una respuesta valiosa  $R$ , en muchos casos con alguna ayuda de algún  $y$ ”. (Chevallard, 2012, p. 167).

Consideramos que este surgir de la cuestión no es necesariamente claro, ¿cómo surge  $Q$ ? ¿Por qué  $Q$  puede estudiarse en el aula? ¿Qué sentido tiene estudiarla? Son preguntas que estarán asociadas a un trabajo de planificación del REI. En este caso la pregunta que surge es, ¿cómo construir un puente con palitos de madera tipo abate lenguas? En este paradigma se reconoce que el grupo de estudio debe ser procognitivo:

[...] el paradigma de cuestionar el mundo exige una actitud muy diferente, que llamaremos *procognitiva* (en un sentido no relacionado con el uso de esta palabra referente a una droga que “reduce el delirio o desorientación”), y que nos empuja a comportarnos como si el conocimiento estuviera esencialmente todavía por descubrir y todavía por conquistar —o por descubrir y conquistar de nuevo. (Chevallard, 2012, pp. 169-170).

### 2.3 Recorridos de Estudio y de Investigación (REI)

En este nuevo paradigma es que se definen los recorridos de estudio y de investigación, como se ilustra a continuación:

La indagación dirigida por  $x$  sobre  $Q$  abre un camino llamado *recorrido de estudio e investigación*. Para avanzar por este camino, el equipo de indagación  $X$  tiene que utilizar el conocimiento —relativo a las respuestas  $R^\diamond$ , así como a las obras  $O$ — hasta entonces desconocido para sus miembros, con el cual el equipo deberá familiarizarse para poder continuar por el camino hacia la respuesta  $R^\heartsuit$  (Chevallard, 2012, p. 170)

Chevallard advierte que este estudio de cuestiones no puede estar previsto de antemano sino que la investigación va siendo conducida por el objetivo de determinar  $R^*$ . Esta manera de hacer resulta por demás interesante, ya que sitúa particularmente a los estudiantes en un rol distinto, deben buscar en conjunto cómo determinar/construir una respuesta que sean capaces de validar a partir del estudio de obras  $O$ . Esto los llevará por ejemplo a reconocer la confiabilidad de la obra consultada y estudiada (fuente de consulta). Esta tarea particular nos parece sumamente necesaria en una sociedad en la que la información parece multiplicarse a un ritmo acelerado, el Internet ofrece cada vez más sitios ofreciendo información de diferente naturaleza, pero ¿cómo encontrar información relevante? ¿Cómo determinar cuál de estos sitios es el que ofrece información confiable? Consideramos que la búsqueda de  $R^*$  permitirá enfrentar al grupo de estudio a la necesidad de analizar primeramente la confiabilidad y también a reconocer cómo a partir del estudio de varias obras construir una respuesta valiosa, lo que lleva a otras consideraciones, ¿quién valida o legitima la respuesta? ¿El profesor? Consideramos que no es el profesor sino el grupo de estudio y esto los posiciona nuevamente de manera distinta, validar es una tarea que en la sociedad no puede quedar bajo la responsabilidad única de las autoridades sino de los ciudadanos y consideramos que este paradigma favorece a partir de los REI's esta capacidad ciudadana. Además de reconocer que los estudiantes se convierten en procognitivos también deben ser exotéricos:

[...] un exotérico tiene que estudiar y aprender indefinidamente, y nunca llegará al estatus escurridizo del esotérico. De hecho, todos los verdaderos estudiosos son exotéricos y deberían seguir siéndolo para mantenerse sabios: el esoterismo, como yo lo defino aquí, es un cuento. (Chevallard, 2013, p. 175)

Además se reconoce

El estudio de  $Q$  es definido así: “Cualquier cuestión  $Q$  puede efectivamente complementarse con sentido por una serie de “cuestiones secundarias”  $Q^*$  que servirán para controlar la calidad, el rigor y la profundidad de una indagación sobre la cuestión  $Q$ ”. (p. 178)

Consideramos que los REI abren preguntas en torno a la forma en que éstos pueden ser implementados en el aula, ¿cómo se gestiona el REI? ¿Cuánto tiempo es necesario para poder construir la respuesta  $R^*$ ? ¿Cómo puede traducirse un plan de estudios en un conjunto de cuestiones  $Q$ ? Estas preguntas no son abordadas en este trabajo ya que particularmente se busca que la construcción del puente de palitos de madera pueda ser “vivido” de manera paralela a los cursos. Esto permitirá que los estudiantes no lo asocien con la enseñanza de alguna asignatura en particular, que lo reconozcan como un proyecto de investigación que requiere de elementos teóricos que permitan sentar las bases de la construcción del puente así como generar una validación práctica, que el puente no se caiga al momento de colocarle cierto peso. Las características de esta actividad serán presentadas en el capítulo III, pero antes de ello consideramos necesario mostrar por qué esta estructura del REI es la que sustenta la construcción de los puentes hechos con palitos de madera.

## 2.4 REI Construcción de puentes con palitos de madera

La pregunta que dirige esta sección es, ¿la construcción de puentes con palitos de madera puede llevar a los estudiantes a generar un REI? Para responderla consideramos los

elementos que brevemente hemos expuesto anteriormente así como la actividad de construcción de puentes con palitos de madera. Un REI, como hemos visto está caracterizado por el estudio de una cuestión, que a su vez va a generar subcuestiones y respuestas hasta construir la respuesta  $R^\heartsuit$ . Entonces, ¿existe una cuestión  $C$  que al estudiarse permite construir los puentes con palitos de madera? ¿Cuál es? A partir de un análisis consideramos que esta cuestión, ¿Cómo construir un puente con palitos de madera tipo abate lenguas? al ser estudiada lleva por supuesto a una investigación, ya que es una pregunta abierta e investigable. Es decir, los estudiantes no tienen una respuesta conocida que puedan movilizar rápidamente, ya que esta pregunta exige o requiere de un “estudio” teórico que permita decir cómo construir el puente, qué elementos deben ser considerados y de qué forma. La construcción de los puentes como lo hemos expuesto en el capítulo 1, requiere de diferentes tipos de conocimientos, matemáticos, de resistencia de materiales, de física, tecnológicos, entre otros. Estos conocimientos no pueden ser vistos de manera independiente sino completamente interrelacionados y eso hace que la investigación tenga lugar, que diferentes tipos de validaciones sean consideradas. Por ejemplo, el modelo matemático que sustenta la resistencia del puente se confrontará prácticamente al construir el puente, ya que éste debe soportar un cierto peso.

Una vez señalado que esta actividad es un REI, consideramos su implementación. ¿Cómo puede ser propuesta a los estudiantes? ¿De manera completamente abierta? ¿Es necesario proponer/sugerir ciertas obras como parte del estudio? ¿Proponer/sugerir ciertas obras impide que esta actividad deje de ser un REI? ¿En qué la favorece? Estas preguntas nos han generado una reflexión profunda y hemos considerado que implementar el REI a partir de una cuestión completamente abierta sin ninguna propuesta de obras para ser estudiada es posible, pero llevaría al menos un semestre el realizarlo. Esto se dificulta en la institución que hemos considerado, ya que se cuentan con diez semanas para la implementación. Esta restricción institucional nos ha llevado a proponer ciertas obras para ser estudiadas, pero los estudiantes pueden considerar todas las obras que consideren necesarias y útiles en su recorrido de estudio y de investigación.

Presentamos en el siguiente capítulo la estructura del REI, construcción de puentes con palitos de madera, y las obras sugeridas para su realización así como las razones que nos hacen proponerlas.

# Capítulo III

## 3 REI “Construcción de puentes elaborados con palitos de madera”

### 3.1 Introducción

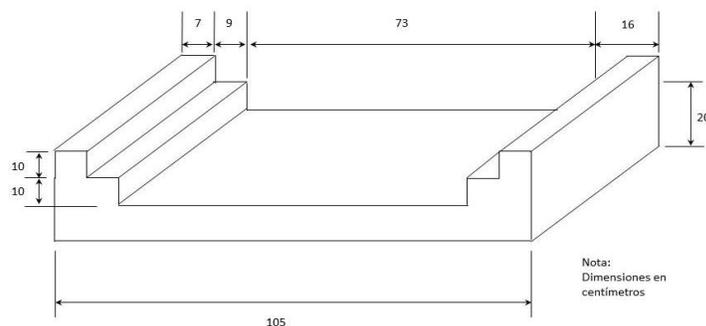
En este capítulo se presenta el REI “Construcción de puentes elaborados con palitos de madera, cuya cuestión generatriz es: ¿Cómo construir un puente con palitos de madera tipo abate lenguas? Esta cuestión puede decirse que se estudiará estableciendo ciertas características con el objetivo de que la construcción del puente, parte experimental del REI, pueda realizarse. Asimismo, se proponen tres etapas para desarrollar el REI, la primera tiene que ver con estudio de los puentes, su surgimiento histórico y los tipos que existentes. Esto con el objetivo de que los estudiantes puedan elegir la estructura del puente que desean diseñar y construir. Esta etapa debe permitir el diseño y los cálculos asociados al mismo que conforman la segunda etapa. La tercera, está determinada por la construcción del puente. Para realizar estas tres etapas, se ha considerado importante analizar y sugerir “obras” que puedan ser consultadas por los estudiantes en el desarrollo del REI. Estas obras, documentos, videos, páginas web interactivas, programas simplificados de cálculo de armaduras, entre otros. Asimismo, se reflexiona sobre lo qué aportarían al estudio en caso de ser consultadas y la actividad que los estudiantes podrían realizar a partir de su estudio.

### 3.2 Características del puente de palitos de madera

Esta actividad solicita como tarea principal construir un modelo de estructura tipo puente con elementos de madera, tipo abate lenguas (los utilizados por los médicos) y pegamento tipo Resistol 850 blanco, la cual debe cumplir con los requerimientos espaciales y geométricos establecidos (detallados a continuación), optimizando el uso de materiales, reconociendo las diferentes tareas en juego, las técnicas disponibles y las que deben aprender, así como las tecnologías que permitirán sustentarlas, para lograr la eficiencia máxima de dicho modelo. Las características que la estructura a construir debe cumplir son las siguientes:

- 1) El peso total máximo del puente será de 1,150 gr. Incluyendo el peso del pegamento pero no el de los apoyos y/o bases.

El puente debe estar apoyado únicamente en los extremos, es decir, en los bordes de la base. Ver figura 1



*Figura 1. Esquema dimensionado del soporte para los puentes de palitos de madera*

- 2) La altura total del puente será máximo de 35 cm. y mínimo de 20 cm.
- 3) El claro libre entre apoyos será de 70 a 75 cm. Medida entre los paños interiores
- 4) La longitud del puente no será mayor a 90 cm. Medida de paño exterior a paño exterior.
- 5) El ancho total del puente deberá ser como mínimo 10 cm. y como máximo 11 cm.
- 6) El puente debe incluir una cama horizontal de palitos que simule una superficie de rodamiento o calzada en toda la longitud del puente, el ancho de la misma será como mínimo 8.5 cm. y como máximo 11 cm., debiendo permitir en el sentido longitudinal a la superficie de rodamiento el paso de un bloque de 8 de ancho x 10 de largo x 5 cm. de altura, simulando el paso simultaneo de un par de camiones de carga pesada.
- 7) El puente podrá o no llevar un pendiente en la dirección longitudinal, si éste la lleva, deberá ser una pendiente máxima del 5%.
- 8) El puente deberá reunir las características de un puente real, el cual estará conformado por una estructura, entendiéndose por estructura: Elemento o conjunto de elementos unidos entre sí los cuales soportan, distribuyen, y/o transmiten las fuerzas que actúan sobre ellas.
- 9) Quedan prohibidos puentes con estructura en “V” invertida, o en “A”
- 10) Queda prohibido el uso de remaches en las uniones de la estructura del puente; entendiéndose por remache todo tipo de elemento que trabaje a cortante directo en el nodo produciendo así un semi-empotramiento. Esperando de esta manera que el pegamento trabaje bajo estos esfuerzos. El traslape entre abate lenguas no se considera remache siempre y cuando éste tenga una longitud mayor a 4cm.
- 11) El puente deberá permitir la entrada de un bloque de 9 x 9 x 1 cm. de altura al centro del claro, sobre el cual se le aplicará la carga.

Para desarrollar este REI se considera que se deben realizar tres grandes tareas, las cuales se enumeran a continuación:

1. Investigar sobre el concepto de puente, los tipos existentes así como sus diferentes usos, dependiendo de las condiciones del claro a cubrir, como lo haría un profesional de la ingeniería civil.
2. Analizar, seleccionar y describir el modelo de puente a construir, considerando los conceptos obtenidos y adicionados a su conocimiento a través de la tarea 1.
3. Construir y probar físicamente la estructura tipo puente seleccionada, de tal forma que se pueda aplicar la información obtenida en la investigación, reflejarla a través de su diseño y compararla con los resultados obtenidos físicamente.

### 3.3 Etapa 1. Investigar sobre el concepto de puente, los tipos existentes así como sus diferentes usos, dependiendo de las condiciones del claro a cubrir, como lo haría un profesional de la ingeniería civil

En esta etapa se pide una investigación que permita responder la pregunta  $C_0$  ¿Cómo construir un puente con palitos de madera tipo abate lenguas? Que llevaría en esta primera etapa a abordar la cuestión  $C_1$  ¿Qué aspectos básicos o fundamentales se deben conocer para construir un puente con palitos de madera tipo abate lenguas? Para abordar esta cuestión  $C_1$ , se espera que en esta etapa los estudiantes estudien las siguientes cuestiones:

$C_{1,1}$  ¿Cuál es la definición de puente?

$C_{1,2}$  ¿Cómo surge el puente y cómo ha ido evolucionando a través de la historia?

$C_{1,3}$  ¿Cuáles son los tipos de puentes?

$C_{1,4}$  ¿Cuáles son los elementos a considerar para la selección de un puente?

Debido a que esta primera etapa será desarrollada por futuros ingenieros civiles, suponemos que ellos cuentan con conocimientos sobre la estructura tipo puente, pero no es seguro que compartan la misma conceptualización o tal vez cuenten con una muy parcial. Se espera que el equipo de estudiantes realice una investigación sobre el concepto de puente, las diferentes formas geométricas de este tipo de estructura utilizado en la ingeniería civil y más específicamente en la ingeniería estructural, así como los usos o aplicaciones de cada uno de ellos. Los estudiantes deberán reconocer que estos usos se determinan a partir de las condiciones naturales del claro o accidente geográfico, que se encuentra entre dos puntos separados y que deben ser unidos para dar continuidad a una vía de comunicación.

#### 3.3.1 Obras propuestas para el desarrollo del REI

Para la realización de esta etapa, se prevé que los estudiantes puedan acudir a diferentes fuentes como son: videos, revistas o libros en línea sobre construcción de puentes, contactar a conocedores de la materia que los puedan orientar, visita a infraestructura de este tipo que les sea accesible por su condición geográfica y entorno, entre otras. Debido a que cada grupo realizará una búsqueda distinta, no es posible detallar la técnica que se seguirá, sin embargo se ha considerado sugerirles ciertas fuentes: videos, páginas web interactivas, cursos en línea y programas de cálculo de armaduras simplificados, las cuales describimos así como las razones que nos hicieron proponerlas.

#### 3.3.2 Video “Puentes- El mundo de Beakman”, aproximación práctica de los puentes

Se sugiere a los estudiantes que observen y analicen el video denominado “Puentes – El mundo de Beakman”, en el que se presenta información elemental sobre los principales o más comunes tipos de puentes, sus orígenes, sus usos, sus formas geométricas, su proceso general de construcción y la forma en que trabajan estructuralmente sus elementos. Todo esto es presentado de forma muy didáctica e incluso lúdica, accesible para cualquier persona interesada en el tema, realizando conexiones con la realidad mediante analogías e ilustraciones. Éstas se consideran de gran valía para que los estudiantes comiencen a establecer relaciones con los conocimientos previos que poseen; como ejemplo se puede señalar la forma en que el personaje (Beakman) explica los cuatro tipos de puentes, utilizando una sencilla maqueta en la que representa un accidente geográfico que de ser cruzado por la parte media, utilizando un árbol a escala (ver figura 2) y haciendo la representación de cómo ese árbol al caer o ser colocado a través del accidente geográfico a

salvar se convierte en el tipo básico de puente, que posteriormente institucionaliza denominándolo tipo “viga” (ver figura 3). Suponemos que los estudiantes al observar esta representación recordarán algún evento en su vida cotidiana en el que se vieron en la necesidad de utilizar un elemento de este tipo, ya sea una tabla, una escalera, o algún elemento metálico, que les permitiera transportarse de un punto a otro, separados por algún vacío o incluso agua, para colocarlo soportado en sus extremos y de esa manera salvar el obstáculo.



*Figura 2. Accidente geográfico a salvar*



*Figura 3. Colocación de elemento con longitud suficiente para salvar el accidente geográfico*

Secuencialmente, el personaje Beakman, muestra lo que pasaría si el tronco o elemento no tuviera la longitud suficiente (elemento tecnológico que permite controlar la técnica) para cubrir el claro que se pretende salvar, lo que generaría la necesidad de colocar dos elementos uno en cada extremo (ver figuras 4 y 5). Sin embargo, ante esta acción ambos elementos pueden caer al interior del accidente geográfico como se aprecia en la figura 5.



*Figura 4. Colocación de dos elementos con longitud insuficiente para salvar el claro*



*Figura 5. Elementos que caen dentro del accidente geográfico por inestabilidad*

Sería entonces imprescindible colocar pesos que eviten el volteo en cada uno de los extremos de los elementos apoyados en los puntos a unir para evitar que cayeran dentro del accidente geográfico (ver figura 6), con el inconveniente de que probablemente entre los extremos libres se genere otro espacio de menor longitud, pero que de cualquier manera impida el libre tránsito entre los puntos a unir (ver figura 7).



Figura 6. Colocación de pesos para evitar el volteo de los elementos colocados



Figura 7. Espacio entre elementos que impide el libre tránsito entre un punto y otro

Es necesario colocar un nuevo elemento que apoye sus extremos sobre los extremos voladizo de los primeros, para lograr la continuidad de la vía, vemos aparecer aquí una función tecnológica práctica, descripción de la técnica, (ver figuras 8 y 9).



Figura 8. Elemento indispensable para dar continuidad a la vía



Figura 9. Vía continua

Después de crear el concepto mediante la representación de las necesidades que llevaron a su creación, se institucionaliza este tipo de puente, como puente en voladizo o ménsula. Es importante destacar que inclusive al colocar el nombre del tipo de puente, se representan los dos elementos extremos con el superpuesto para conformarlo (ver figura 10).



Figura 10. Institucionalización del concepto Puente en voladizo o ménsula

Este video también presenta los puentes tipo colgante y en arco, los cuales son tratados de la misma manera, poniendo a disposición de los estudiantes ideas e imágenes que les permitan organizar su propia conceptualización de cada uno de ellos, como se aprecia en las figuras 11a, 11b, 12a y 12b.





Figura 12a. Institucionalización del concepto Puente tipo arco



Figura 12b. Imagen que ilustra la concepción estructural del puente tipo arco

Una de las analogías más interesantes que se presenta este video, es cuando el ratón (personaje) presenta una pizza de pepperoni (ver figura 13a), la cual utiliza para mostrarnos el tamaño real de uno de los cables principales que soportan los puentes colgantes, cuya localización se puede apreciar en la figura 13 b), creando una relación de proporcionalidad con respecto al tamaño humano, y en la que las rebanadas de pepperoni representan la forma en que se integran los mismos a partir de cables de menor diámetro que van trenzados entre sí.



Figura 13a. Ilustración del tamaño real de un cable principal de un puente colgante

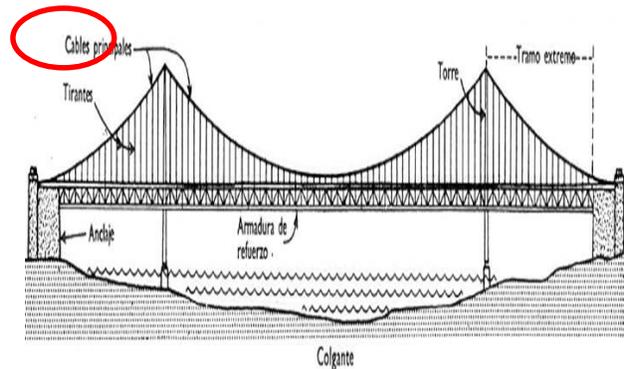


Figura 13b. Localización de los cables principales de un puente colgante

Beakman (personaje) recrea en este video las necesidades que dieron origen a cada uno de los tipos principales de puentes, describiendo a grandes rasgos sus procesos de

construcción, mostrando cada uno de sus componentes, su función dentro de la estructura e institucionalizándolos. Por todo esto, consideramos que este video aporta elementos para una conceptualización del “puente” en los estudiantes. El video está disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=FMz3ywgDdYs>

### 3.3.3 Video “Construcción de puentes” que presenta una aproximación teórica a los puentes

Se considera que una vez que los estudiantes han visto de forma general los tipos de puentes, sus elementos básicos, su funcionamiento y sus procesos de construcción, es necesario acercarse a elementos tecnológicos teóricos que sustentan estas estructuras. Para ello, se sugiere el video “construcción de puentes” en el que se establece de forma declarativa que el tipo de puente a elegir, así como su diseño, están estrechamente relacionados con el claro a salvar, elemento tecnológico.

En primer término dispone el puente tipo viga, indicándonos que es el más sencillo de construir y a su vez el más económico, el cual consiste básicamente en una viga soportada en cada uno de sus extremos, cuyo claro máximo a cubrir es de 80 metros. Explica el funcionamiento estructural de la viga, que básicamente en las fibras de la parte superior trabaja a compresión, mientras que las de la parte inferior lo hacen a tensión (tracción). De igual forma proporciona datos sobre los materiales idóneos para su construcción, siendo éstos, el hormigón (concreto) que soporta las fuerzas de compresión y el acero (vigas), que es el elemento encargado de las fuerzas de tensión, ilustrándolo mediante animaciones 3D que dan una idea muy clara de la forma geométrica de dichas estructuras, como se aprecia en las figuras 14 a). En ésta, se presenta una vista inferior de la estructura mientras que en la figura 14 b) se presenta una vista superior, que proporciona un panorama general de la instalación de un puente de este tipo.



Figura 14a. Ilustración de la composición del puente tipo

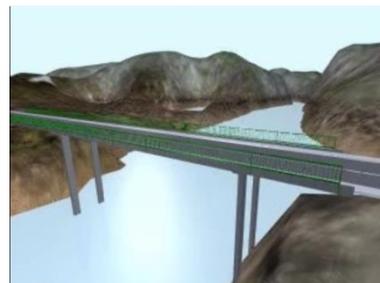


Figura 14b. Vista panorámica de puente tipo viga

En segundo plano, presenta la información correspondiente al puente tipo arco, señalando que son muy resistentes y por dicha razón, son los más utilizados en la historia, idóneos para salvar distancias que van de los 60 a los 250 metros, pero con las técnicas modernas se alcanzan claros más grandes. Describe cómo el peso propio y las cargas por funcionamiento se distribuyen a través del arco, el cual trabaja en todo momento a compresión, trasladándolas a los estribos o apoyos del mismo. Señala al hormigón pretensado (concreto) y al acero como los materiales idóneos para su construcción. La información es presentada al tiempo que ofrece vistas en 3D que permiten identificar los elementos a los que se refiere, momento a momento, como se aprecia en las figuras 15 a) y 15 b).



1



Figura 15a. Vista panorámica de puente tipo arco

Figura 15b. Vista inferior de los elementos de un puente tipo arco

El video continúa con la presentación del puente colgante, que destacan por su limpieza de líneas y su resistencia, con una capacidad para salvar accidentes geográficos de hasta 2,200 metros de longitud (ver figura 16).



Figura 16. Ilustración de un puente colgante

Se describe que los puentes en trato, quedan sujetos mediante cables principales que descansan en altas torres (ver detalle “A” en figura 17a), mismos que se extienden a lo largo del puente (ver figuras 17a y 17b), siendo sujetos en los extremos mediante anclajes. El peso propio del puente, así como las cargas de servicio se transmiten a través de los tirantes (ver figura 17c) a los cables principales, los cuales a su vez, las transmiten a las torres que descansan en anclajes sujetos en roca sólida o en bloques de hormigón macizo (ver figura 17c). Asimismo, se describe cómo se conforman los cables principales, a base de miles de alambres de acero con un diámetro de 2.5 milímetros que soportan cargas hasta de media tonelada cada uno, información que seguramente los estudiantes relacionarán con las imágenes del personaje del ratón y la pizza de pepperoni, incluidas en el video denominado “Puentes – El mundo de Beakman”, y que fuera descrito en párrafos anteriores.



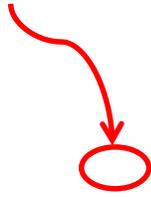


Figura 17a. Cables principales del puente colgante y su conformación

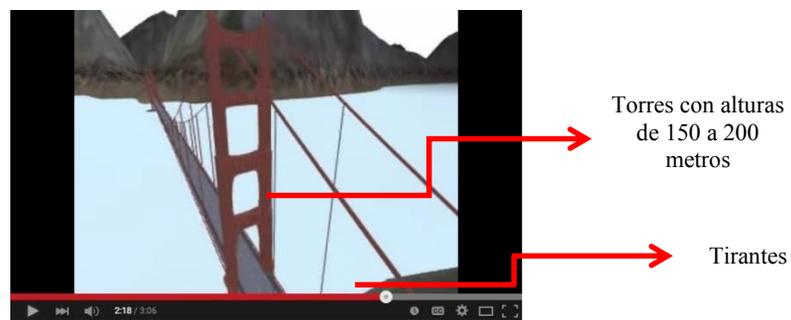


Figura 17b. Torres y tirantes en un puente tipo colgante

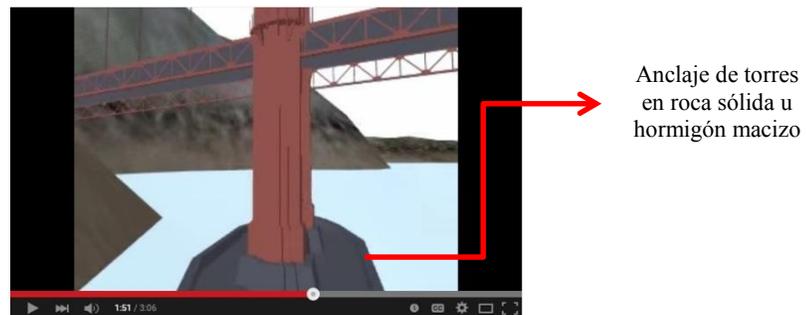


Figura 17c. Torres ancladas en roca u hormigón

Un dato de suma importancia que proporciona este video, es que este tipo de puentes son estructuras muy ligeras y flexibles (ver figura 18a), razón por la que los vientos fuertes son una gran amenaza, siendo necesario en su diseño, estudios y pruebas de aerodinámica (elementos tecnológicos). En este punto presumimos que los estudiantes conectarán este dato con el video del puente construido sobre el estrecho de Tacoma (ver figura 18b y 18c), presentado como parte de la información incluida en el video denominado “Puentes – El mundo de Beakman”, en el que se presenta cómo un puente colgante, debido a cargas de viento, comienza a oscilar, y finalmente se destruye.





*Figura 18c. Puente de Tacoma oscilando por cargas de viento que lo hicieron entrar en resonancia*

En la sección final del video, se presenta un tipo de puente similar al colgante, pero que distribuye las cargas de forma distinta, este es el tipo atirantado o de tirantes, que pueden salvar claros de hasta 850 metros de longitud (ver figura 19a).



*Figura 19a. Puente atirantado o de tirantes*

A diferencia de los colgantes, en los puentes atirantados, los cables no descansan sobre las torres, sino que están anclados a éstas (ver figura 19b), las cuales pueden ser dos situadas a ambos lados del puente (ver figura 19c) o bien, solo una torre central o asimétrica (ver figura 19d), que soportan toda la carga del peso propio y la de servicio.



*Figura 19b. Cables anclados a las torres*



*Figura 19c. Dos torres para soporte de puente*



*Figura 19d. Puente de tirantes con una sola torre*

Los tirantes pueden estar dispuestos de dos formas; la primera es aquella en la que los cables parten de diferentes puntos del puente y convergen en el punto más alto de la torre (ver figura 19c), a la cual se le denomina diseño radial, mientras que en la segunda los cables están anclados a diferentes alturas de la torre y tienen una trayectoria paralela entre sí, se le conoce precisamente como en arpa (ver figura 19 d).

Este video permitirá a los estudiantes reconocer aspectos necesarios para realizar la elección del tipo de puente, que depende de las condiciones del claro o accidente geográfico a salvar, con datos de longitudes de los mismos. Asimismo, les permitirá conocer una explicación o descripción desde un punto de vista más técnico, de los elementos que integran las diferentes estructuras, sus formas de anclaje o soporte, así como el comportamiento estructural de cada uno de ellos. Esto con el objetivo de que conozcan su función o los esfuerzos a los que estarán sometidos como parte de la propia estructura, así como los materiales idóneos para su construcción. De esta forma, los futuros ingenieros pueden integrar una concepción más amplia de la conformación de los puentes, añadir información para realizar una selección fundamentada del tipo de puente a utilizar, previo análisis de las condiciones iniciales. El video se encuentra disponible en: <http://www.youtube.com/watch?v=9Wj7W-JLMIA>

### 3.3.4 Conocimiento de los puentes a través de Wikipedia

Actualmente, una de las fuentes más recurridas en la web, es Wikipedia, misma que cuenta con mucha información pero que ha sido criticada y considerada como poco confiable. Sin embargo, después de realizar un análisis, se constató que en el tema de puentes ofrece

información general y básica, que permite obtener elementos en la formación del concepto de la estructura que se modelará mediante esta praxeología.

Una de las ventajas de esta página es que integra los cinco tipos de puentes revisados hasta el momento. Haciendo una recapitulación, en los videos sugeridos y que presumimos serán analizados por los estudiantes, se establecieron los conceptos de cuatro tipos de puentes diferentes en cada uno de ellos, sin embargo, difieren en sus clasificaciones, como se puede observar en la siguiente tabla:

Título del Video	Tipo de puente				
	1	2	3	4	5
Puentes – El mundo de Beakman	Viga	Voladizo o ménsula	Colgante	Arco	
Construcción de puentes	Viga	Arco	Colgante		Atirantado

En este orden de ideas, partiendo de la información recabada, se sugiere que los estudiantes tengan la oportunidad de reflexionar y comparar los datos obtenidos, por lo que se propone que realicen la lectura y exploración de Wikipedia, en la cual encontrarán la misma información de forma organizada, con una amplia variedad de ilustraciones y con la oportunidad de seguir los enlaces propuestos en la misma. Estos enlaces les podrían ayudar a profundizar aún más en los conceptos revisados y por tanto obtener una visión o conceptualización más compleja de la modelización que realizarán. La página web se encuentra disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Puente>

En dicha página se presenta una definición de puente enfocada en su uso, circunscribe a la INGENIERÍA ESTRUCTURAL como el área de conocimiento mediante la cual se desarrolla el proyecto y cálculo de estas obras de arte, asimismo, contextualiza la historia del avance de los puentes a través de las diferentes culturas. Desde una perspectiva técnica, proporciona terminología que ayuda a identificar los componentes de un puente, así como los tipos que se generan considerando el aprovechamiento y disposición estructural de sus elementos, clasificándolos e ilustrándolos mediante fotografías de puentes actuales, los cuales son:



**En viga** ([viaducto ferroviario en Stuttgart Cannstatt](#)), trabaja a tracción en la zona inferior de la estructura y compresión en la superior, es decir, soporta un esfuerzo de flexión. No todos los viaductos son puentes viga; muchos son en ménsula.



**En ménsula** ([Puente Rosario-Victoria](#)), trabaja a tracción en la zona superior de la estructura y compresión en la inferior. Los puentes atirantados (foto) son una derivación de este estilo.



**En arco** ([Puente de Alcántara](#)), trabaja a compresión en la mayor parte de la estructura. Usado desde la antigüedad.



**Colgante** ([Golden Gate](#)), trabaja a tracción en la mayor parte de la estructura.



**Atirantado** ("Puente del amor", [Taiwán](#)). Su tablero está suspendido de uno o varios pilones centrales mediante obenques.

En la página web en trato, se aborda un concepto que es determinante en el campo de la Ingeniería Estructural, para determinar la viabilidad de los diseños propuestos, el cual es denominado EFICIENCIA ESTRUCTURAL, definida como: el ratio (cociente) entre la carga que puede soportar el puente y el peso del propio puente, dado un determinado conjunto de materiales y que es uno de los criterios que se toman en cuenta para elegir el proyecto ganador, en caso de que se decida plantear esta actividad como un concurso. Se aborda también información sobre los distintos tipos de materiales utilizados en la construcción de estas estructuras. Se presenta estadísticas sobre las causas de falla más frecuentes, enriqueciéndolo con datos de situaciones reales, y no tan solo ideales, para el diseño estructural que afrontan.

### 3.3.5 Conocimiento de los puentes a través de una página web, aproximación teórica

Con la finalidad de que los estudiantes complementen la información obtenida, se propone el siguiente enlace electrónico: <http://civilpuentesiupsm.blogspot.mx/2012/07/tipos-de-puentes.html>

En el cual se aborda la información de forma más puntual, logrando que concentren su atención en los tipos de puentes, cuya clasificación se hace considerando el aprovechamiento y disposición estructural de sus elementos, ilustrándolos mediante fotografías de algunos de ellos que están instalados y dando servicio en diferentes partes del mundo. En la página electrónica se proporciona una explicación más amplia sobre la forma en que los diferentes modelos estructurales trabajan mecánicamente, resaltando las ventajas que proporcionan, para las condiciones iniciales más frecuentes que se presentan en esta clase de problemáticas.

Por tanto, se espera que el estudiante conozca y obtenga información básica que lo contextualice sobre los cinco tipos de puentes principales utilizados, que son los siguientes:



**Puente Viga** es un puente cuyos vanos son soportados por vigas. Este tipo de puentes deriva directamente del puente tronco



Un **puente en ménsula** (en inglés *cantilever bridge*) es un puente en el cual una o más vigas principales trabajan como ménsula o voladizo. Normalmente, las grandes estructuras se construyen por la técnica de volados sucesivos, mediante ménsulas consecutivas que se proyectan en el espacio a partir de la ménsula previa.



Un **puente de arco** es un puente con apoyos en los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura con forma

de arco con la que se transmiten las cargas. Los puentes en arco trabajan transfiriendo el peso propio del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical.



Un **puente colgante** es un puente sostenido por un arco invertido formado por numerosos cables de acero, del que se suspende el tablero del puente mediante tirantes verticales. Desde la antigüedad este tipo de puentes han sido utilizados por la humanidad para salvar obstáculos.



En términos de ingeniería civil, se denomina **puente atirantado** a aquel cuyo tablero está suspendido de uno o varios pilones centrales mediante obenques. Se distingue de los puentes colgantes porque en éstos los cables principales se disponen de pila a pila, sosteniendo el tablero mediante cables secundarios verticales

En general, mediante estos enlaces electrónicos sugeridos, el equipo de estudiantes encontrará una definición clara y básica sobre lo que es una estructura tipo puente, el área de conocimiento a la que pertenecen que es la Ingeniería estructural disciplina de la Ingeniería Civil orientada a la identificación, evaluación y diseño de problemas relacionados con la infraestructura necesaria para que el ser humano mejore su calidad de vida. Es decir, en un sentido práctico, es el aprovechamiento de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales para que mediante arreglos geométricos soporten su propio peso (carga muerta), así como las cargas que se originan por su funcionalidad además de las cargas que se generan por lo efectos de la naturaleza, como son vientos, sismos, nieve o

agua, entre otros, su desarrollo a través de la historia de la humanidad, las partes que conforman una estructura de este tipo, los tipos o clasificación por su forma y elementos que lo conforman, sus usos, así como el concepto de eficiencia que es uno de los factores determinantes para el éxito de esta actividad.

### 3.3.6 Conocimiento de los puentes a través de una página web o electrónica que presenta una aproximación práctica

Una vez que ha quedado clara la clasificación de los puentes en cuanto a su conformación estructural, como siguiente paso en la adquisición de información, el equipo de alumnos puede complementar los conocimientos obtenidos, mediante información del contexto histórico en el que ha evolucionado la construcción de los puentes, desde las necesidades que dieron origen a los mismos, los materiales que se han utilizado para su elaboración, las herramientas utilizadas para el ensamblaje de los mismos, así como sus diseños conforme el desarrollo tecnológico. Esta página les permitirá conocer los sistemas de construcción utilizados a principios del siglo XX, en los que se aprecian las formas de unión de elementos en los nudos, casi de forma manual, de una forma muy similar a como tendrán que hacerlo cuando construyan su modelo. Para tales efectos, se propone que el equipo de futuros ingenieros, lea y analice la información contenida a la cual conduce el siguiente vínculo electrónico: <https://www.youtube.com/watch?v=fI3Ds4iM32U>

Se espera que el grupo de estudiantes, se concientice de los requerimientos que deben cumplir las estructuras tipo puente, a partir del contexto humano, de las necesidades que les dieron origen y de su evolución tecnológica. Por otro lado, mediante el análisis del video, el equipo, se percatará de que esas majestuosas estructuras, son construidas por el hombre, mediante un diseño apropiado, que cumple con los requerimientos para solventar ciertas necesidades, y un proceso de ensamblaje de piezas prefabricadas, unidas adecuadamente, que permitan aprovechar al máximo las capacidades físicas y mecánicas de los materiales utilizados, de manera tal que puedan considerarlo como una actividad factible (ver figura 20).



### 3.3.7 Conocimiento de a web o electrónica que presenta una aproximación teórica y práctica

Es importante que el grupo de estudiantes procese la información obtenida y la lleve al campo de la práctica para obtener una mejor comprensión y un aprendizaje significativo de los conceptos revisados, integrándolos al total de conocimientos que posee, para que procese el aspecto funcional de los mismos, por lo que se sugiere que acceda al siguiente

enlace electrónico: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/build-bridge-p1.html> en la que desarrollará una actividad de tipo interactiva, denominada “CONSTRUYE UN PUENTE” (¡Build a bridge!) consistente en tres etapas, que a continuación se enumeran y se describen:

a) Survey the four sites (¡Explora los cuatro sitios!)

En esta primera parte, el equipo de estudiantes deberá explorar cuatro tramos abiertos que necesitan puentes, y cuyas características de longitud de claro les son proporcionados:



*Figura 21a. Accidente geográfico 1*

Un claro con una longitud de 1,300 metros, que atraviesa una bahía del océano, donde enormes barcos van y vienen



*Figura 21b. Accidente geográfico 2*

Un claro con una longitud de 90 metros, a través de un estrecho canal.



*Figura 21c. Accidente geográfico 3*

Un tramo principal de 900 metros a través de un canal de navegación ocupado en una gran ciudad



Un tramo de 370 metros a través de una garganta un río profundo

Figura 21d. Accidente geográfico 4

Esta primera fase, permite que el equipo de futuros ingenieros, realice una observación minuciosa de las características iniciales de cada una de la problemáticas a resolver, identificándolas, y comparándolas con las revisadas en las actividades anteriores.

b) Do your homework (¡Haz tu tarea!)

En la siguiente fase de la actividad, denominada ¡Haz tu tarea!, la expectativa sobre el equipo de estudiantes, es que después de analizar las condiciones iniciales, se provea de información sobre la forma en que las diferentes formas de estructuras distribuyen las cargas que soportan, y realicen una práctica utilizando material que ellos mismos pueden fabricar, siguiendo los pasos que les son indicados. Mediante una serie de preguntas de reflexión, que deberán contestar mientras realizan la actividad, se pretende el estudio de técnicas y tecnologías asociadas al funcionamiento de cada disposición de la estructura y de los elementos que la componen. Por ejemplo en la sección inicial, para una mejor ilustración del funcionamiento del arco, se propone el uso de una tira de cartón dispuesta de la siguiente manera:

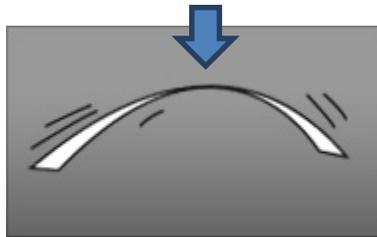


Figura 22a. Arco de tira de cartón

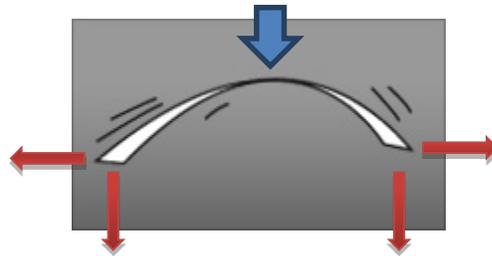


Figura 22b. Desplazamiento ilustrado de los extremos de la tira de cartón

Seguidamente se le pide que presione en la parte central (figura 22a) y observen lo que sucede en los extremos, de tal suerte que el grupo de estudiantes, se percate de que los extremos del arco tienden a desplazarse horizontalmente (abrirse) como se aprecia en la figura 22b, detectando entonces la necesidad de colocar apoyos en ese sentido, para contrarrestar las fuerzas que provocan el precipitado desplazamiento. Es importante señalar que el desplazamiento vertical no se produce debido a que existe un soporte del suelo, suficiente para evitarlo, por lo que en este sentido, el profesor deberá realizar la aclaración correspondiente, o en su caso, realizar preguntas de seguimiento, ya sea verbalmente o por escrito. Enseguida, se instruye al estudiante para que coloque una pila de libros de cada lado del arco, y nuevamente presione al centro utilizando una carga puntual como se aprecia en la figura 22c

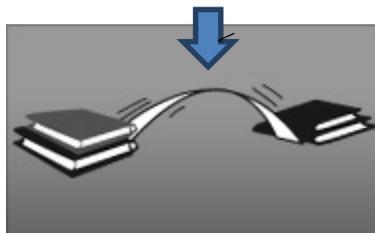


Figura 22c. Impedimento de desplazamiento horizontal en los soportes del arco

El grupo de futuros ingenieros, podrá entonces percibir que la magnitud de la fuerza que se aplica puede ser mayor, sin que la estructura se deforme, hasta el punto en que la falla se presente por causas en la resistencia a los esfuerzos internos del propio material, percibiendo las ventajas ofrecidas por la disposición de la estructura, y sus soportes, bajo las mismas propiedades físicas y mecánicas del material con que fue elaborada.

Este mismo tipo de prácticas son ofrecidas para los principales tipos de puentes previamente descritos, entre los que se cuentan el de viga, el atirantado y el colgante, mediante las cuales los alumnos, podrán distinguir cuáles son los esfuerzos que se presentan en cada uno de los elementos que conforman las diferentes disposiciones estructurales, formándose una mejor concepción de las propiedades de los materiales que deben usar en cada una de las partes de las estructuras.

c) Play the game (¡Juega!)

En la última fase de la actividad, el equipo de estudiantes pone en juego los conocimientos adquiridos, dándoles un enfoque funcional y movilizándolos hacia la solución de problemas reales, ya que deberán resolver de la forma más adecuada para cada uno de los escenarios planteados, tomando en cuenta los datos que se proporcionan al respecto. Para ilustrarlo, ver la figura 23, en la cual se tiene un claro de 1,300 metros de longitud, en una bahía donde circulan enormes embarcaciones.

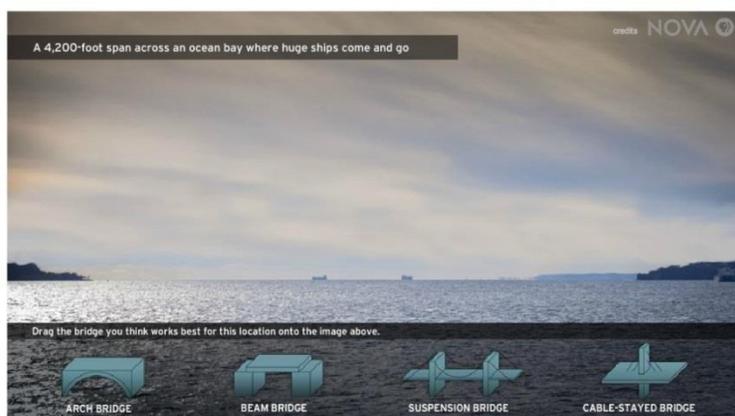


Figura 23. Ilustración de accidente

Como se puede apreciar en la parte inferior, el equipo de futuros ingenieros deberá seleccionar entre las cuatro principales tipos de puentes que fueron analizados a través de esta práctica en la segunda fase. Se espera que los estudiantes analicen, argumenten, expliquen y justifiquen al interior del equipo antes de tomar una decisión, poniendo en práctica el intercambio de ideas, mientras reflexionan sobre sus argumentos a partir de la información revisada durante el desarrollo de esta tarea, para lograr un consenso sobre la mejor solución. Esto los llevará a realizar la segunda etapa del REI.

Para el caso de que la solución propuesta por el conjunto de alumnos no sea la óptima, la aplicación tecnológica presentará un cuadro de diálogo con preguntas que provocan la

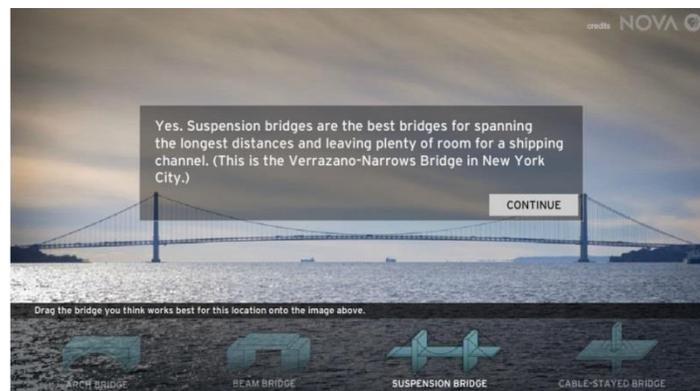


reflexión del equipo, generando nuevamente discusión al interior del mismo, que será desarrollada a partir de los aspectos que fueron considerados, hasta encontrar la solución óptima, como se puede apreciar en la figura 23a:

*Figura 23a. Ilustración del cuadro de diálogo para orientar a los estudiantes que presenta la aplicación tecnológica accidente geográfico*

Por ejemplo, supongamos que un equipo de estudiantes analiza las condiciones y características iniciales del claro a salvar, tomando en cuenta la información obtenida sobre los tipos de puentes, elige como idóneo un puente tipo viga, lo selecciona y lo lleva hacia el área central de la pantalla. La aplicación entonces genera un cuadro de diálogo (ver Figura 23a) para que los alumnos reconsideren aspectos, en este ejemplo, funcionales con el que debe cumplir la estructura, como es el hecho de que las embarcaciones que circulan en la bahía son de gran calado y por tanto necesitan una estructura de mayor altura que les permita el libre tránsito.

El equipo deberá realizar una nueva propuesta, de ser acertada, la aplicación presenta un cuadro de diálogo indicando las ventajas de dicha solución, como se puede apreciar en la siguiente imagen (Figura 23b):



*Figura 23b. Ilustración del cuadro de diálogo para conformar la correcta decisión de los estudiantes que presenta la aplicación tecnológica accidente*

Al tenor de lo antes expuesto, el equipo de estudiantes, podría constatar que sus argumentos, explicaciones y conclusiones son válidas, para dar solución a una problemática de la vida real, como la presentada. En el cuadro de texto, la aplicación tecnológica, proporciona datos que validan las ideas expuestas en la discusión por los estudiantes, generándose así una evolución en el conocimiento, al considerar una mayor cantidad de variables que serán previstas por los aprendices en experiencias próximas.

### 3.3.8 Conocimiento de los puentes a través de una síntesis de la información procesada que presenta una aproximación teórica

Para concluir la tarea 1, los estudiantes deberán elaborar un reporte en el que presenten los puntos siguientes:

- Introducción (texto en el que se indique lo que va a encontrarse en el reporte)
- Definición de puente
- Historia de los puentes
- Tipos principales de puentes y sus características
- Elementos a considerar para la selección de un tipo de puente
- Conclusiones (texto en el que se presente una reflexión general de la investigación realizada y su utilidad para desarrollar su estructura)
- Referencias (Colocar todas las referencias utilizadas para elaborar el reporte)

Con la finalidad de que el equipo de estudiantes, sintetice toda la información recibida por medio de la tarea 1, la organice, y tenga claros los elementos a considerar para las próximas tareas, en donde deberá seleccionar una estructura que cumpla con los requerimientos demandados, de manera eficiente. En el reporte, el equipo de futuros ingenieros, deberá explicitar los conceptos más importantes que surgieron a través de la investigación realizada, y que pueden ser útiles en las siguientes etapas o tareas a realizar.

### 3.4 Etapa 2. Analizar, seleccionar y describir el modelo de puente a construir, considerando los conceptos obtenidos y adicionados a su conocimiento a través de la etapa 1

En esta tarea se solicita al equipo de estudiantes que establezcan la continuidad entre dos puntos, mediante una estructura tipo puente, cumpliendo con los requerimientos estipulados en el apartado 1.3 “Construcción de puentes con palitos de madera, características de la actividad”. Se espera que los estudiantes utilicen el conjunto de conocimientos con los que cuentan y los que construirán a partir de esta actividad. La expectativa es que los estudiantes realicen un análisis de las condiciones iniciales del accidente geográfico en cuyos extremos se encuentran los puntos que deberán comunicar, en consecuencia, generen una o más propuestas de solución, y posteriormente seleccionen el modelo de puente a utilizar en función del precitado análisis, los materiales dispuestos en los requerimientos y el tipo de carga que deberá soportar la estructura en la etapa final de la secuencia didáctica en trato. Plasmada la propuesta, el equipo de estudiantes procede al diseño y descripción tanto geométrica como estructural del modelo de puente, elaborando los esquemas necesarios para la siguiente etapa, consistente en la construcción del modelo diseñado.

#### 3.4.1 Análisis de las condiciones iniciales del accidente geográfico a salvar

En el apartado 1.3 “Construcción de puentes de palitos de madera, características de la actividad”, se establecen los requerimientos que debe cumplir la estructura tipo puente a diseñar. Las características o especificaciones se enumeran, y en el inciso número 2) se proporciona un esquema dimensional del soporte que servirá de apoyo al modelo de puente, el cual tiene restricciones al desplazamiento horizontal, cuando los apoyos tienden a separarse, y en sentido vertical, cuando por efecto del peso propio y la carga de servicio, los puntos de soporte tienden a desplazarse hacia abajo, es decir, la estructura podrá

desplazarse horizontalmente (hacia el interior del accidente geográfico), verticalmente (sólo en sentido ascendente) y permitirá el giro, que pudiera producirse por los momentos que como consecuencia del peso propio y la aplicación de la carga puntual al centro del claro, se producirán, como se puede apreciar de la figura 24, que se provee al grupo de estudiantes con información sobre las condiciones espaciales y geométricas que disponen para comenzar a esbozar su propuesta.

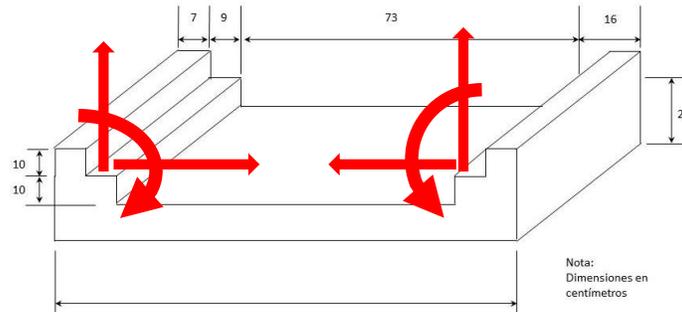


Figura 24. Ilustración de desplazamientos no restringidos

En los puntos subsecuentes, se estatuyen especificaciones dimensionales como son la altura máxima, claro que debe salvarse, ancho del puente, longitud máxima, pendiente longitudinal, así como las de funcionalidad, solicitándose una calzada que permita el paso de los “vehículos”, definiendo en cada caso, las magnitudes requeridas. Del análisis de la información recabada, se espera que los estudiantes se familiaricen con el espacio que está dispuesto para el puente y de esa manera, den paso al planteamiento de la propuesta que versa sobre el tipo de puente a utilizar (Ver figura 25).

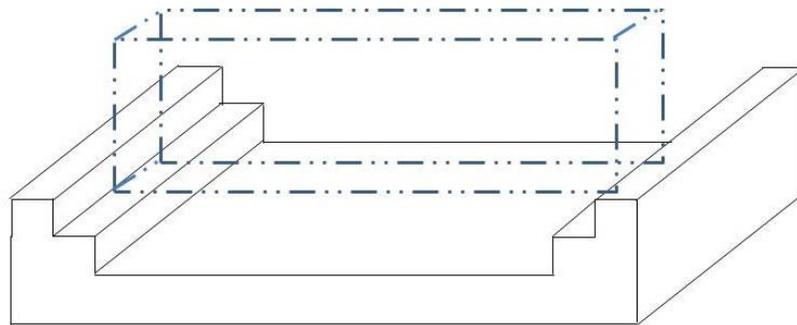


Figura 25. Espacio dispuesto para la estructura tipo puente

En esta fase, la idea es que los estudiantes comiencen a unificar criterios, mediante el intercambio de ideas, a fin de encontrar un cauce común, que determine la propuesta inicial sobre el tipo de puente a utilizar. Se prevé que, dadas las limitantes que se estipularon en el apartado correspondiente, que incluyen, además de las espaciales y geométricas, limitaciones respecto de los materiales a utilizar, que en este caso son solo palitos de madera tipo abate lenguas y pegamento blanco tipo Resistol 850, y el tipo de carga de prueba a la que se someterá la estructura, siendo ésta una carga puntual al centro del claro. Es dable suponer, que el grupo de estudiantes realizará un análisis de los componentes de cada tipo de puente, a fin de señalar los que se adecuan a las condiciones que deben cumplirse, anteriormente descritas.

En este orden de ideas, se prevé que los estudiantes inicien un proceso de eliminación, y siendo el caso que, no se cuenta con los elementos constructivos necesarios (ya que no se permiten materiales diversos a los abatelenguas y el pegamento blanco en esta actividad) para la elaboración de los tipos colgante y atirantado, pues se requiere de materiales que sean flexibles y permitan la transmisión de las cargas entre los componentes de forma adecuada, trabajando a tensión, al igual que lo hacen los cables de acero, no es posible modelar los tipos de puentes precitados, dando lugar a su desechamiento. Ver figuras 26a y 26b.

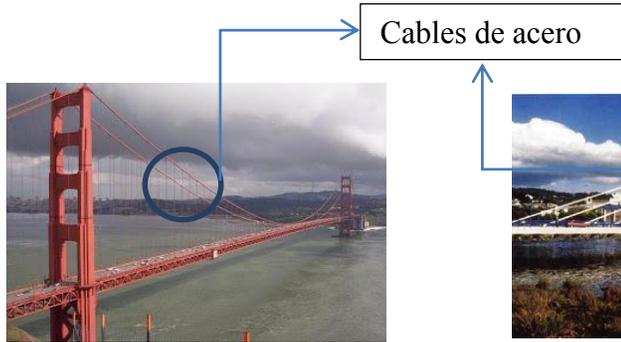


Figura 26a. Cables de acero en puentes colgantes



Figura 26b. Cables de acero en puentes atirantados

A partir de este punto, solo resta analizar los tipos de puente tipo ménsula o voladizo, arco y viga. En el caso del puente tipo ménsula o voladizo, por su configuración, y dado que para la prueba de la estructura se aplicará una carga puntual al centro del claro, se genera un momento de volteo o giro muy fuerte en los soportes o puntos de apoyo (ver figura 27), tendiendo el elemento a caer hacia el centro del accidente geográfico que pretende salvarse, como se apreció en el video “Beakman - Construcción de puentes” revisado y analizado en la Tarea 1 (ver figura 27a), lo que requiere que el desplazamiento de la estructura en ese sentido sea restringido, es decir que haya un empotramiento (anclaje rígido) que impida dicho desplazamiento (ver figura 27 b).

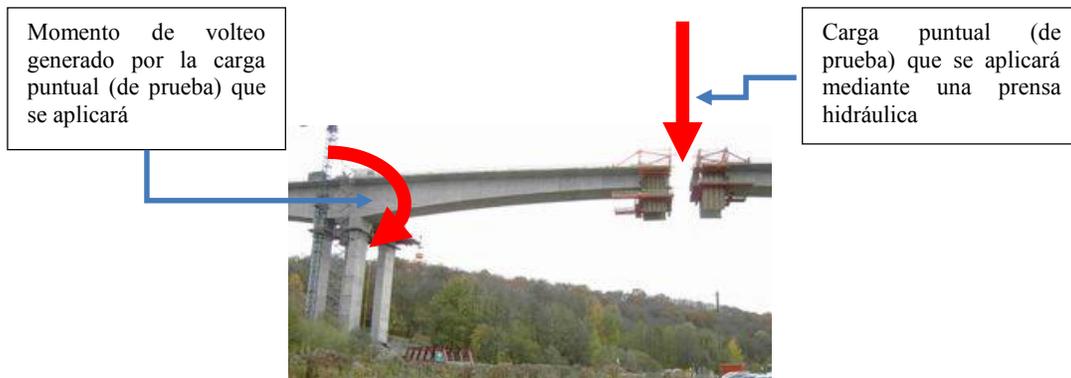


Figura 27a. Elementos inestables que caen al accidente geográfico por el momento de giro o volteo producido por su propio peso



Empotramiento que impide el desplazamiento vertical, horizontal y de giro o volteo

Figura 27b. Elementos de anclaje que producen empotramiento en los apoyos

Del análisis realizado al apoyo o soporte, dispuesto para las condiciones de carga a que se verá sometida la estructura en desarrollo, se espera que los estudiantes reconozcan que no existe la posibilidad de impedir el giro o volteo en el multicitado dispositivo de soporte, como ya se especificó (ver figura 27c), toda vez que el puente deberá estar simplemente apoyado, es decir solo descansar en el espacio destinado para tal fin.

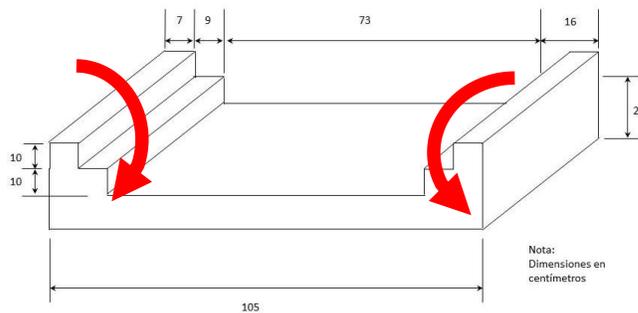


Figura 27c. Desplazamiento angular no restringido por el tipo de soporte

De lo anteriormente expuesto, la expectativa es que los estudiantes descarten el puente tipo ménsula o voladizo, ya que del estudio de las condiciones en que actuará la estructura tipo puente, acorde a los requerimientos estipulados, se puede percibir que éstas resultan sumamente desfavorables para la configuración de este tipo de puente. Con los tipos de puente Colgante, Atirantado y Ménsula o Voladizo eliminados por los estudiantes, de las posibilidades de resolver la problemática en la cual se encuentran inmersos, se espera que procedan al análisis del puente tipo Viga, así como del tipo Arco. Ambos tipos de puentes pueden ser conformados con los materiales con que cuentan los estudiantes para tal fin, ya que los elementos de madera son rígidos y pueden ser moldeados de acuerdo a las necesidades, utilizando el pegamento blanco (tipo Resistol 850) en las uniones de los mismos. (Ver figura 28).



Figura 28. Materiales para la elaboración del modelo

Una vez identificado el hecho de que el material disponible es apropiado, es viable que los estudiantes complementen su análisis, con un estudio de las necesidades de apoyo de cada uno de estos tipos de estructura, para compararlas con las condiciones de soporte requeridas en la situación a resolver.

Si los estudiantes, en primer término, realizan el estudio comparativo de las necesidades de apoyo del puente tipo viga, se considera que advertirán por analogía, que la disposición del soporte de prueba, concuerda con las necesidades precisadas para este tipo de puente, como se observó en el video titulado “Beakman – Construcción de Puentes” (figura 29a), y en la actividad interactiva denominada “Construye un puente” (¡Build a bridge!) en la cual el puente tipo viga se modela como se observa en la figura 29b), y que no requieren restricciones al giro, ni horizontales, ya que por el tipo de deformación que sufrirá el elemento al estar sometido a la carga puntual y al peso propio, se asemejará a la que se aprecia en la palmera de la figura 29a, haciendo hincapié en que el desplazamiento horizontal de los apoyos será hacia el centro del claro, por lo que la restricción lateral en el soporte de prueba, no afectará el desempeño del elemento.



Figura 29a. Elemento tipo viga (palmera) simplemente apoyado

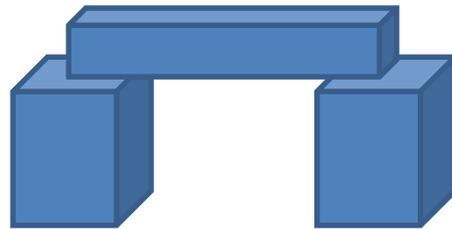
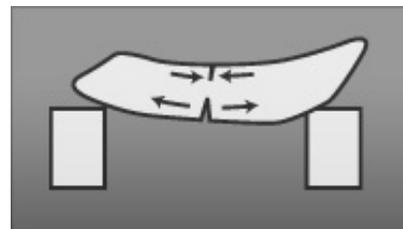
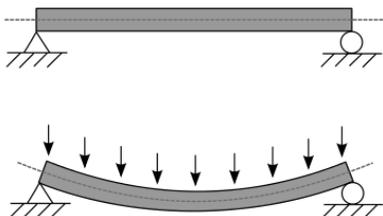


Figura 29b. Esquema de elemento tipo viga, simplemente apoyado

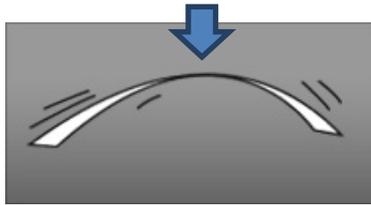
En cuanto al funcionamiento estructural de este tipo de puente, se presume que los estudiantes ya tienen conocimiento del mismo, en su calidad de futuros ingenieros civiles, y que hayan sido enriquecidos con la explicación recibida en el video “construcción de puentes” de la Tarea 1. Por lo que reconocerán que al aplicarse el peso propio y una carga puntual al centro del claro a una viga simplemente apoyada, trabaja sometiendo sus fibras superiores a compresión y las inferiores a tensión como se puede apreciar de la figura 29c, y como se observó en la actividad interactiva de nombre “construye un puente” (ver figura 29d, de donde se puede concluir que por la forma en que se desempeña el puente denominado “viga” y el tipo de apoyos dispuesto para la situación que están resolviendo, es una solución factible.



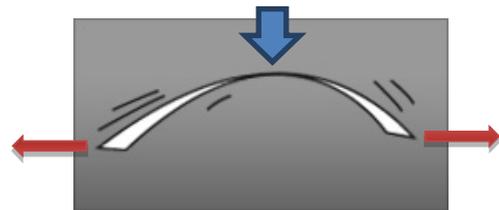
*Figura 29c. Deformación de una viga simplemente apoyada*

*Figura 29d. Comportamiento de las fibras internas de un elemento simplemente apoyado*

En lo que al puente tipo Arco respecta, es previsible que los estudiantes también por analogía, definan que las necesidades de apoyo para este tipo de estructura, son cubiertas por la conformación del soporte provisto para la prueba física. De la actividad interactiva titulada “construye un puente” (¡Build a bridge!), los estudiantes enriquecieron sus conocimientos, desarrollando un tarea propuesta, que les permitió definir los desplazamientos de los extremos de un arco conformado con una cartulina (ver figura 30a), al aplicársele de forma manual una carga, en la parte superior del arco, que es al mismo tiempo, el centro del claro que cubre; se presume que los estudiantes se percataron de que la falla de la estructura, se produjo porque los extremos del arco se desplazaron horizontalmente, alejándose el uno del otro, ya que no había restricción en ese sentido, mientras que no se desplazaron verticalmente hacia abajo, dado que la superficie en que se apoyó, ofrecía la restricción necesaria (ver figura 30b).

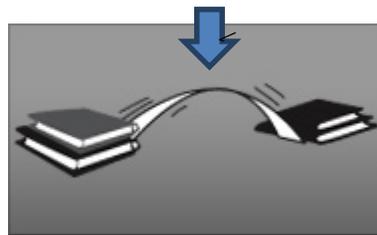


*Figura 30a. Elemento tipo arco sin restricción lateral*



*Figura 30b. Desplazamientos no restringidos*

Posteriormente, dicha tarea sugiere a los estudiantes que coloquen una pila de libros en la parte exterior del arco, sosteniendo los extremos y que aplique el mismo tipo de carga, como lo hizo anteriormente (figura 30c).



*Figura 30c. Restricciones al desplazamiento lateral*

La expectativa es que los estudiantes, con el desarrollo de esta tarea, perciban que la carga aplicada en el segundo caso fue notablemente mayor que la primera, y que la falla se produjo por el colapso de la estructura, y no por el desplazamientos de los apoyos, deduciendo que además de la restricción en sentido vertical, se requiere la horizontal ofrecida por la pila de libros, lo que proporciona el soporte adecuado para este tipo de conformación estructural y concluyendo que la resistencia a la carga aplicada dependerá de las propiedades de la estructura en trato.

En lo relativo al desempeño estructural, se pronostica que los estudiantes relacionarán los datos ofrecidos en el video observado “Beakman – Construcción de puentes” en donde Beakman explica y demuestra que en este tipo de estructura, los elementos que la conforman trabajan a compresión en todo momento, ver figura 30d. Esta información también aparece, de forma más técnica y puntual, en el video “construcción de puentes” (ver figura 30e).



*Figura 30d. Funcionamiento a compresión de los elementos del arco*



*Figura 30e. Estructuración para transmisión de cargas al arco*

Esta estructura es una de las más resistentes, y dado que las condiciones de soporte necesarias coinciden con las que se determinaron para la prueba física, además de que el tipo de material a utilizar, que en este caso consiste en palitos de madera, la cual es percibida como un material que soporta más al aplastamiento o compresión, que a la tensión o tracción, es predecible que los estudiantes opten por este tipo de puente.

Por las virtudes descritas anteriormente, que presentan para los requerimientos de la problemática planteada, tanto el puente tipo Viga como el tipo Arco, se espera que los estudiantes, se vean en la disyuntiva de escoger entre uno u otro, definiendo por sus propias percepciones o bien pudiendo preliminarmente seleccionar ambos para realizar un análisis inicial, dejando a los resultados que arroje el cálculo mediante la metodología pertinente, su selección final.

### 3.4.2 Croquis de la estructura tipo puente seleccionada, partiendo de las necesidades geométricas determinadas por el accidente geográfico a salvar y los materiales dispuestos para la construcción física del modelo, que presenta una aproximación teórica y práctica

Con la finalidad de que los estudiantes puedan aterrizar la solución que conceptualmente proponen para la problemática, se espera que realicen un primer bosquejo de la conformación geométrica de la estructura tipo puente, considerando las especificaciones dimensionales establecidas en el apartado 1.3 “Construcción de puentes de palitos de madera, características de la actividad”. Asimismo, la condición de carga bajo la cual será probada la estructura, las condiciones de apoyo proveídas, mismas que han sido descritas en párrafos que anteceden, la longitud del material a utilizar para la construcción (palitos de madera tipo abatelenguas) y las imágenes que han percibido de los documentos electrónicos, páginas interactivas y videos analizados en las actividades previa. Es decir que aborden la pregunta, C<sub>2</sub> ¿Cómo realizar el diseño estructural de un puente construido con palitos de madera? y para abordar esta cuestión, se espera que en esta etapa los estudiantes estudien las siguientes cuestiones:

- C<sub>2,1</sub> ¿Cuál es la definición de armadura como elemento fundamental de un puente?
- C<sub>2,2</sub> ¿Cómo proponer una armadura que cumpla con los requerimientos del proyecto?

C<sub>2,3</sub> ¿Cuáles son los métodos de análisis estructural para el cálculo y diseño de armaduras?

C<sub>2,4</sub> ¿Cómo presentar los resultados del diseño del puente?

Ahora bien, las especificaciones dimensionales que deben cumplirse, han sido evaluadas por los estudiantes, desde que les fueron indicadas en el apartado correspondiente y en el análisis de las condiciones de apoyo, por lo que es dable suponer que para este momento, estén plenamente conscientes de los límites espaciales con los que debe cumplir el modelo, espacio que se explicitó en el apartado anterior y que para mayor descripción, se inserta nuevamente (Figura 31), adicionando las dimensiones máximas que por especificación puede ocupar la estructura.

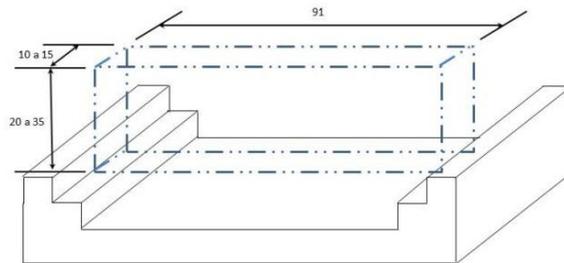


Figura 31. Espacio disponible para la estructura tipo puente

En lo referente a la condición de carga, se especifica en esta secuencia didáctica o Recorrido de Estudio e Investigación (REI), que se trata de una carga puntual, aplicada mediante un pistón de una prensa hidráulica, y que será aplicada en el centro del claro dispuesto, como se puede apreciar en la figura 31a.

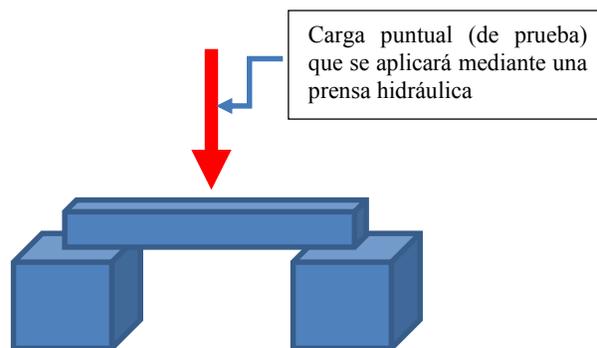
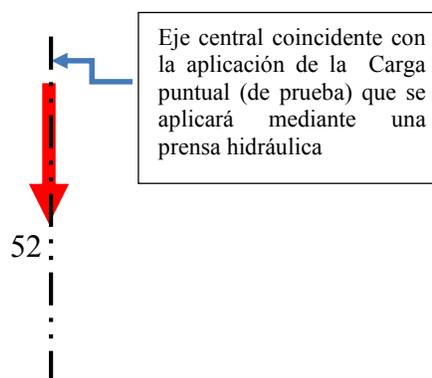


Figura 31a. Carga puntual de prueba

En este orden de ideas, la expectativa es que el equipo de estudiantes, plantee una distribución de elementos de carga que estén dispuestos simétricamente con respecto a un eje central vertical, que coincide con eje de aplicación de la carga de prueba. Ver la figura indicativa 30b.



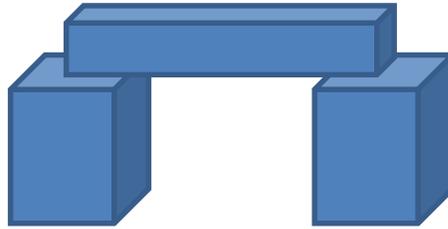


Figura 31b. Eje central de la estructura

Para tener una perspectiva más real de lo antes descrito, se inserta la figura 31c, la cual es una fotografía de la aplicación de la carga puntual sobre el modelo, realizada en experiencias previas y que sirve de referencia. Ver figura indicativa 31c.



Figura 31c. Aplicación de carga puntual a la estructura

Por cuanto hace a la separación entre elementos y uniones de los mismos, se espera que el estudiante distancias no mayores a la longitud de los abatelenguas (figura 31d), el cual aproximadamente tiene las siguientes medidas: 15 centímetros de largo, 2 centímetros de ancho y 2 milímetros de espesor, con la idea de evitar empates y uniones que no coincidan con los nudos (figura 31e), es decir, con los puntos en los que convergen los extremos de más de un elemento, como se esquematiza en la figura 30e.



Figura 31d. Elementos de madera tipo abatelenguas

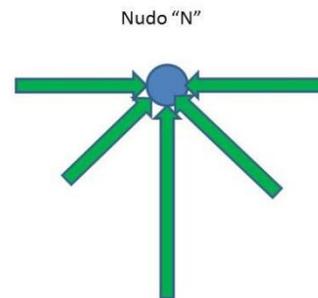


Figura 31e. Cargas coincidentes en los nudos de la estructura

Siguiendo los parámetros antes descritos, se espera que los estudiantes realicen un primer esquema de lo que será la estructura; este puede ser elaborado en dos o tres dimensiones, a mano alzada, utilizando equipo de dibujo o bien mediante programas computacionales de su elección que les permitan el trazo de líneas y figuras, por lo que pudieran presentar bosquejos (figuras 32a, 32b, 32c y 32d) como los siguientes:

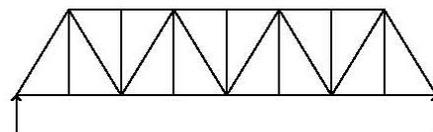
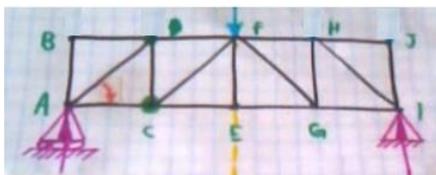


Figura 32a. Esquema bidimensional elaborado a mano alzada

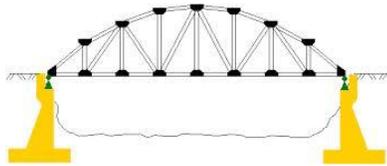


Figura 32b. Esquema bidimensional elaborado mediante programas computacionales

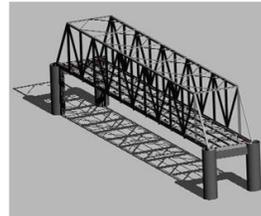


Figura 32c. Esquema bidimensional de configuración de armadura diferente

Figura 32d. Esquema tridimensional elaborado mediante aplicaciones computacionales

Una vez esbozado el modelo, se espera que los estudiantes propongan dimensiones de la distribución geométrica del mismo, por lo que es necesario que obtenga información relacionada con el concepto de armadura y los métodos e cálculo de las mismas, para orientar su diseño.

### 3.4.3 Conocimiento de la definición de armadura y el método para el cálculo de los esfuerzos en los elementos de la misma, presenta una aproximación teórica y práctica

Ya sea que los estudiantes se encuentren en las disyuntiva entre el puente tipo viga y el tipo arco, o bien, hayan definido su preferencia por el tipo viga o tipo arco y quieran establecer el modelo final, deberán realizar el análisis estructural correspondiente.

La Ingeniería Estructural, establece que dicho análisis a un nivel básico, puede hacerse a partir de las armaduras que componen la estructura propuesta. Ante esto, es necesario que los estudiantes recuerden o integren a sus conocimientos el concepto de armadura, así como el método que pueden utilizar para el cálculo de los esfuerzos a que someterán los elementos que la conforman, por lo que se sugiere visiten el siguiente enlace electrónico: <https://www.dropbox.com/s/5g1xnd72jns12ko/armaduras%20concurso.xps?dl=0>

En este documento, los estudiantes encontrarán una definición de “Armadura”, la cual se transcribe a la letra: “Una armadura es un montaje de elementos delgados y rectos que soportan cargas principalmente axiales (de tensión y compresión)”, asimismo, proporciona una descripción de la forma en que los elementos pueden unirse en los nodos o nudos, ya sea por medio de pasadores lisos, de tal suerte que se permita el libre giro de los elementos en estos puntos, o mediante soldadura, pernos, remaches, tornillos, insertados en un aplaca de unión (nudo). En lo que a la carga compete, es descrito que debe ser aplicada en los nudos o nodos, dado que los elementos que conforman la armadura son esbeltos y no resisten cargas a flexión. Refiere las armaduras rígidas, como aquellas que no se deforman o fallan bajo la aplicación de una carga pequeña. Para ilustrar lo antes descrito, ver figura indicativa 33.

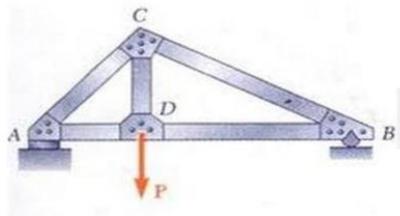


Figura 33. Armadura rígida

Da luz al estudiante, cuando específicamente señala que la mayoría de las **estructuras reales**, se conforman a partir de varias armaduras unidas entre si, para formar una armadura espacial. La expectativa es que los estudiantes se percaten por comparación de que lo que han propuesto por medio de sus esquemas son las denominadas “armaduras”, con lo que se institucionaliza este saber.

Continúa el documento en trato, con la descripción de una **armadura simple**, indicándonos que es la que se obtiene a partir de una armadura triangular rígida agregándole dos nuevos elementos y conectándolos a un nuevo nodo como se aprecia en la secuencia de las figuras 33a, 33b y 33c, repitiendo el procedimiento, tantas veces como sea necesario hasta alcanzar las dimensiones requeridas. Estas armaduras simples son estructuras rígidas.

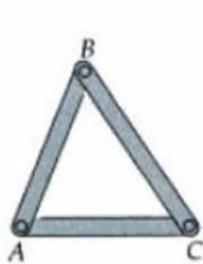


Figura 33a. Armadura triangular rígida

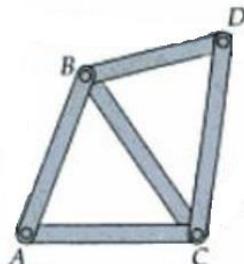


Figura 33b. Armadura simple

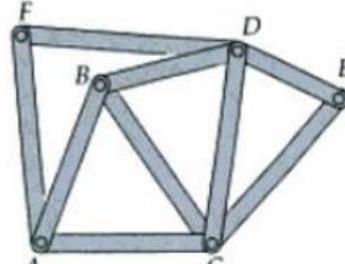


Figura 33c. Armadura simple con más elementos

Un punto importante que aclara el documento, y que deber ser considera por los estudiantes, es que el procedimiento antes descrito genera armaduras simples, y que podemos verificarlo mediante la siguiente expresión:

$$m = 2n - 3$$

donde m es el número de elementos con que cuenta la armadura, y n es el número de nodos que están contenidos en la misma, así por ejemplo, si se examina la siguiente armadura (figura 33d):

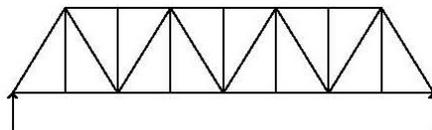


Figura 33d. Armadura simple

de un conteo directo, el estudiante se percatará de que está conformada por 29 elementos, y un total de 16 nodos, al aplicar el criterio para definir si se trata de una armadura simple, se tiene que:

$$m = 2n - 3$$

$$29 = 2(16) - 3$$

$$29 = 32 - 3$$

$$29 = 29$$

Por tanto, se trata de una armadura simple, condición que es necesaria, toda vez que, aunque el documento no es específico en ese sentido, se estará comprobando que se trata de una estructura isostática, que puede ser resuelta, es decir, que se pueden determinar las fuerzas que actúan sobre cualquier elemento, mediante la aplicación de las condiciones de equilibrio y las ecuaciones que de ellas se desprenden:

Sumatoria de fuerzas horizontales igual a cero	$\sum F_x = 0$
Sumatoria de fuerzas verticales igual a cero	$\sum F_y = 0$
Sumatoria de momentos de giro o volteo igual a cero	$\sum M = 0$

Continúa el documento, con la exposición de algunas armaduras para puente y para techos que han sido establecidas como prototipo, por su buen desempeño estructural, con base en la experiencia, y que servirán de guía para los estudiantes en la definición final de las distribución de los elementos que conforman el modelo que propondrán como solución al caso que los ocupa. Dichos prototipos se presentan en las figuras 34a y 34b.



Figura 34a. Prototipos de armadura simple para puentes estandarizados con base en la experiencia



Figura 34b. Prototipos de armadura simple para techumbres estandarizados con base en la experiencia

Con los prototipos de armadura presentados, el equipo de estudiantes podrá reconfigurar o reafirmar el modelo de armadura propuesto, verificando que se trate de armaduras simples mediante los criterios propuestos, condición indispensable para el método de nodos que se utilizará como sistema de cálculo en este Recorrido de Estudio e Investigación (REI) o secuencia didáctica.

El documento presenta información teórica sobre las hipótesis que se consideran para una armadura “ideal”, y que serán de gran utilidad para los estudiantes, pues podrán establecer esquemática y conceptualmente sus modelos para el análisis estructural, las cuales se enlistan a continuación:

- ❖ Todos los elementos de una armadura son rectos y se pueden representar por medio de rectas.
- ❖ Los nodos en los extremos de los miembros se pueden representar por medio de puntos.
- ❖ Todos los nodos se forman por pasadores sin fricción.

- ❖ El peso de cada elemento se aplica en los extremos de éste, o bien, el peso de cada elemento es despreciable.
- ❖ A una armadura sólo se le pueden aplicar cargas concentradas, y estas se aplican en los nodos.
- ❖ Para una armadura plana (bidimensional), todos los elementos y cargas se encuentran en el mismo plano. Para una armadura espacial (tridimensional), los elementos no son coplanares y las direcciones de las cargas son arbitrarias.
- ❖ Se asume que sobre un elemento individual de una armadura, pueden actuar fuerzas, como las que se muestran en la figura 34c y 34d.

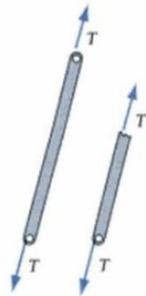


Figura 34c. Elementos sujetos a tensión

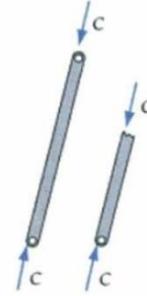


Figura 34d. Elementos sujetos a compresión

La figura 34c muestra una fuerza de Tensión o Tracción, que tiende a estirar el elemento y actúa a todo lo largo del mismo, mientras que en la figura 34d la fuerza actuante es de Compresión, y el efecto es contrario, es decir, tiende a comprimir al elemento. Posteriormente, los estudiantes tendrán un primer acercamiento con el método de nodos para la determinación de las fuerzas actuantes en los elementos de una armadura sujeta a cargas, el cual considera las hipótesis anteriormente mencionadas. En el documento que se revisa, el método es descrito a groso modo, resaltando sus finalidades u objetivos y haciendo algunas recomendaciones para un planteamiento adecuado del mismo, mediante los puntos que a continuación se listan:

- 1).- Obtener las reacciones en los apoyos a partir del Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) de la armadura completa.
- 2).- Determinar las fuerzas en cada uno de los elementos haciendo el Diagrama de Cuerpo Libre (DCL) de cada uno de los nodos o uniones.
- 3).- Se recomienda empezar analizando aquellos nodos que tengan no más de dos incógnitas.
- 4).- Si la fuerza ejercida por un elemento sobre un perno está dirigida hacia el perno, dicho elemento está en compresión; si la fuerza ejercida por un elemento sobre el perno está dirigida hacia fuera de éste, dicho elemento está en tensión.

La descripción del método antes listada, se podrá apreciar mejor mediante el ejemplo que es propuesto en el mismo documento, en el cual se determinan las fuerzas actuantes en cada uno de los elementos que integran una armadura simple, plasmada en la figura 35a.

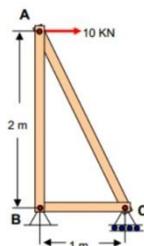


Figura 35a. Armadura propuesta para análisis por el método descrito

Se espera que los estudiantes, realicen un análisis previo para determinar si se trata de una armadura simple o no, poniendo en práctica el criterio sugerido en párrafos que anteceden, así, de un conteo directo, el estudiante se percatará de que la armadura propuesta está conformada por 3 elementos, y un total de 3 nodos, al aplicar el criterio para definir si se trata de una armadura simple, se tiene que:

$$\begin{aligned}
 m &= 2n - 3 \\
 3 &= 2(3) - 3 \\
 3 &= 6 - 3 \\
 3 &= 3
 \end{aligned}$$

Por tanto, se trata de una armadura simple, lo que cumple con las hipótesis requeridas para el método de solución que se aplicará. Partiendo de la armadura simple planteada en la figura 35a, y retomando los puntos señalados en la descripción del método de nodos, se dibuja el Diagrama de Cuerpo Libre (DCL), de la estructura completa, el cual se aprecia en la figura 35b:

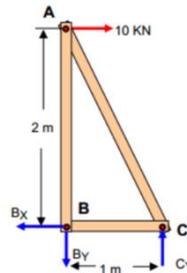


Figura 35b. Diagrama de Cuerpo Libre (DCL)

Dado que los estudiantes ya poseen algunos conocimientos básicos sobre estructuras y la simbología convencional, deberán reconocer que las flechas en color azul y los sentidos señalados se suponen en función de la dirección de la carga y del momento de giro que genera, corresponden a las reacciones en los apoyos, producto de la carga que actúa sobre la armadura. Mediante las ecuaciones de equilibrio, se determinan las reacciones en los apoyos de la armadura la manera siguiente (Figura 35c):

$  \begin{aligned}  \Sigma M_C = 0 \\  \curvearrowright + \quad B_Y (1) - 10 (2) = 0 \\  B_Y (1) = 10 (2) \\  \mathbf{B_Y = 20 \text{ KN}}  \end{aligned}  $	$  \begin{aligned}  \Sigma F_X = 0 \\  10 - B_X = 0 \\  \mathbf{B_X = 10 \text{ KN}}  \end{aligned}  $	$  \begin{aligned}  \Sigma F_Y = 0 \\  C_Y - B_Y = 0 \\  C_Y = B_Y \quad \text{Pero: } B_Y = 20 \text{ KN} \\  \mathbf{C_Y = 20 \text{ KN}}  \end{aligned}  $
--	--	---

Figura 35c. Cálculos para determinación de reacciones en los soportes de la armadura

Es importante aclarar, que si el resultado de la solución de las ecuaciones de equilibrio es negativo, significa que el sentido de la fuerza supuesto, es incorrecto y por tanto deberá entenderse que actúa en sentido contrario al supuesto.

Conociendo las magnitudes, así como la dirección y sentido de las reacciones en los soportes de la estructura, se procede a la determinación de las fuerzas actuantes en cada uno de los elementos que conforman la armadura que se analiza, siguiendo el mismo procedimiento para cada uno de los nodos.

Así tenemos que del análisis del nodo B (Figura 35d), se obtiene la fuerza que actúa sobre el elemento que une al nodo B con el C, identificada como  $F_{BC}$ , así como la fuerza que opera en el elemento que une el nodo B con el A, identificada como  $F_{BA}$  :

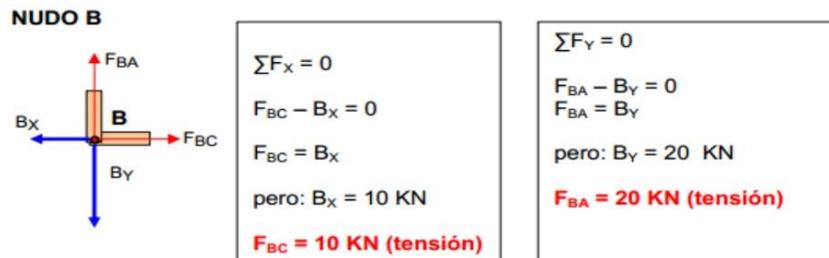


Figura 35c. Cálculos para determinación de fuerzas concurrentes en el nudo B

Conocidas las fuerzas  $F_{BC}$  y  $F_{BA}$ , se procede al análisis del nodo A (Figura 35d), para la determinación de la Fuerza que opera sobre el elemento que une los nodos A y C, la cual es identificada como  $F_{AC}$ , por lo que se tiene que:

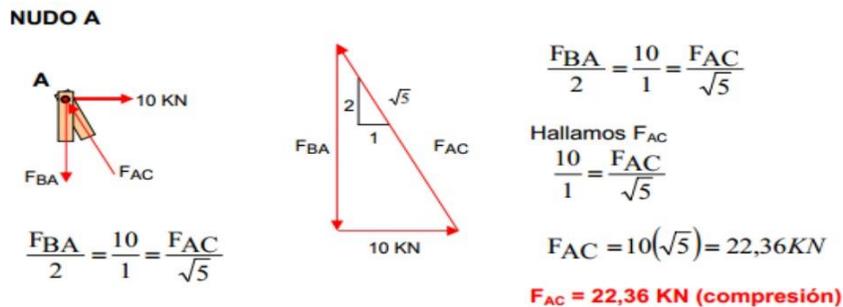


Figura 35d. Cálculos para determinación de fuerzas concurrentes en el nudo B

Del ejemplo analizado, se presume que los estudiantes podrán establecer por analogía, el procedimiento previamente descrito, para analizar las armaduras que han propuesto en la solución del caso en que se encuentran inmersos.

Desde el aspecto matemático, el método incluye el establecimiento y resolución de ecuaciones simultáneas de primer grado, así como diversos conceptos como es el de simetría, proporcionalidad y pendiente.

Para una mayor comprensión del método, se sugiere revisen el siguiente enlace electrónicos, en donde encontrarán definiciones más amplias y detalladas sobre el concepto de “armadura”, así como ejemplos resueltos, con un grado de complejidad similar al revisado anteriormente, que les servirá de guía para el desarrollo de teoremas para la aplicación del método en la estructura que diseñaron:

<http://cursos.tecmilenio.edu.mx/cursos/at8q3ozr5p/prof/im/im09001/anexos/explica5.htm>

De igual forma, se sugiere que los estudiantes observen y analicen los videos disponibles en los siguientes enlaces, con la finalidad de abundar en la aplicación práctica del método de nodos, desde las diferentes perspectivas propuestas por los autores de los mismos:

<https://www.youtube.com/watch?v=0jHY9BICkzM>

<https://www.youtube.com/watch?v=a3PCLxv2vcs>

[https://www.youtube.com/watch?v=N9D\\_onMS7L8](https://www.youtube.com/watch?v=N9D_onMS7L8)

[https://www.youtube.com/watch?v=IEK\\_8B8ge\\_M](https://www.youtube.com/watch?v=IEK_8B8ge_M)

<https://www.youtube.com/watch?v=MCpenHt3aqw>

### 3.5 Etapa 3. Construcción del modelo de puente, a partir de la descripción hecha en la etapa 2

En esta etapa final se espera que los estudiantes aborden la cuestión  $C_{3,1}$  ¿Cómo construir el puente elegido con palitos de madera tipo abate lenguas? Y pongan en práctica las nociones y conocimientos acumulados hasta el momento, para que realicen la construcción de sus modelos, tomando en cuenta los supuestos relativos a puentes y armaduras que se han estudiado en las etapas previas, de tal manera que se reflejen en los procesos constructivos que utilicen, para que se logre el desempeño estructural deseado.

#### 3.5.1 Interacción de los integrantes del equipo para la planeación de la ejecución del proyecto que presenta una aproximación práctica

Se espera que el equipo de estudiantes, partiendo de los elementos en que plasmaron su diseño estructural, den inicio a la materialización del mismo, haciendo las adaptaciones prácticas requeridas, considerando las propiedades de los materiales que deberán utilizar para la elaboración del modelo y que en un primer momento, logren acuerdos sobre las funciones que desempeñarán cada uno de los integrantes en este período de ejecución, relativos a solventar las necesidades que surgen tales como el abastecimiento de los insumos, los espacios que requieren para su procesamiento, las herramientas y equipos a ocupar, tiempos de ejecución, entre otras.

#### 3.5.2 Interpretación de los datos plasmados en los croquis y/o planos ejecutivos del proyecto, que presenta una aproximación teórica y practica

La planeación de las actividades, está estrechamente ligada con la correcta interpretación de los datos plasmados en el proyecto ejecutivo planteado por ellos mismos, y con las necesidades que surgen para crear las condiciones consideradas en los supuestos teóricos del método de análisis utilizado y de las nociones de resistencia de materiales con que cuentan en su calidad de futuros ingenieros. Esta actividad coloca a los estudiantes en la posición de un Ingeniero Civil de campo, el cual debe realizar la ejecución de un proyecto, sin más información que los planos ejecutivos, los cuales contienen datos que deberá interpretar teniendo como base sus propios conocimientos teóricos, los cuales debe adaptar a la práctica, para dar vida a lo plasmado en papel, logrando las condiciones requeridas para evitar la alteración de los supuestos teóricos y tecnológicos con que se creó el proyecto. Esta actividad es de suma importancia, ya que de una mala interpretación, se pueden acarrear problemas de desempeño estructural que pudieran llegar a ser graves.

### 3.5.3 Sugerencias para dar orientación a los estudiantes sobre los procedimientos constructivos a utilizar que presenta una aproximación práctica

En el escrito de aplicación proporcionado a los estudiantes para la ejecución de esta etapa, el docente proporciona orientación sobre los procedimientos de fabricación, para obtener los mejores resultados en el modelo. Para ejemplificar lo anterior, se presenta la siguiente imagen (Figura 36):

- a) Inician la fabricación con el tiempo suficiente, a fin de lograr un secado adecuado del pegamento en las uniones de elementos, ya que si al momento de la prueba, dichas uniones se encuentran frescas no tendrán el desempeño adecuado al momento de ser probadas.
- b) Los nudos requerirán de tu habilidad para lograr conexiones eficientes, por lo que es recomendable que realicen cortes en los elementos a fin de lograr superficies de unión mayores, como se presenta en el siguiente dibujo:

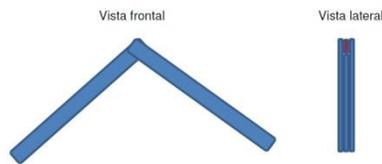


Figura 36. Sugerencias para los procedimientos de fabricación del modelo

Se prevé que los estudiantes de forma conjunta reflexionarán sobre los mismos, identificando las repercusiones que tendrá sobre el funcionamiento estructural deseado de su prototipo.

### 3.5.4 Conocimiento del proceso constructivo a través de un video que presenta una aproximación práctica.

Se sugiere a los estudiantes que visiten el video “Construcción de puente y prueba de resistencia” disponible en el siguiente enlace electrónico: <https://www.youtube.com/watch?v=MCpenHt3aqw>, en donde podrán observar el proceso constructivo de forma sintetizada de un puente elaborado por otros estudiantes, como se observa en las figuras 37a, 37b, 37c y 37d, que a continuación se presentan:



Figura 37a. Procedimiento constructivo 1. Conformación de armadura



Figura 37b. Procedimiento constructivo 2. Conformación de armadura gemela



Figura 37c. Procedimiento constructivo 3. Aplicación de presión para mejorar



Figura 37d. Procedimiento constructivo 4. Aplicación de adhesivo

Se prevé que los estudiantes logren identificar las condiciones en que se puede realizar el proceso constructivo del modelo, que incluyen los espacios y las herramientas o equipos que puede allegarse para la ejecución del mismo, adaptándolos a sus necesidades o disponibilidad. Asimismo, obtiene técnicas para mejorar su procedimiento, como es la aplicación de presión en las uniones del elemento básico (palitos de madera) alcanzando con esto mayor adherencia.

En las Figuras 37a y 37b se puede apreciar como tras la conformación de la primera armadura, para las subsecuentes, que en nuestro caso solo es una, se omiten todos los procesos de medición, pues se hace superponiendo elementos de sección y longitud igual, lo que favorece la eficiencia del proceso de fabricación. Este proceso se realiza exactamente igual en la realidad al conformar las armaduras, ya que los armadores, una vez que han integrado la primera armadura con todo cuidado, acorde a lo requerido en el proyecto, dejan descansando sobre una superficie lo más nivelada posible (suelo), la estructura y colocan sobre esta los elementos de la siguiente, fijándolos a la primera con puntos de soldadura, para que al soldar las uniones, no se produzcan deformaciones o torceduras indeseadas, que provoquen un desempeño estructural inadecuado.

### 3.5.5 Conocimiento de la prueba física (carga) a través de un video que presenta una aproximación práctica

En el siguiente paso, se propone a los estudiantes que observen el video de nombre “Concurso de puentes de madera UAQ “puente ganador” 2009” (sic), el cual está disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=NhCY88UZREY>, consistente en el registro de la prueba física de un puente elaborado con palitos de madera, al cual le es aplicada una carga puntal al centro del claro, tal como se ha indicado, se realizará para el modelo que diseñaron y que se encuentra en proceso de fabricación. Ver figuras 38a, 38b, 38c y 38d.



*Figura 38a. Colocación del modelo en la prensa hidráulica para su prueba*



*Figura 38b. Aplicación de carga puntal para su prueba física*



Figura 38c. Aplicación de carga puntual para su prueba física (deformación)



Figura 38d. Registro de carga de falla de la estructura

Se prevé que los estudiantes se percatarán, mediante el proceso de deformación que sufre la estructura antes de fallar, de los puntos físicos que deben atender con mayor cuidado, así como del comportamiento estructural del cuerpo que han diseñado, creando un conocimiento a priori del fenómeno físico al cual se verá sujeto su modelo al momento de ser probado.

### 3.5.6 Conocimiento de las exposiciones de otros estudiantes sobre sus diseños de puentes de palitos de madera antes de ser probados físicamente a través de un video que presenta una aproximación práctica

Consiguientemente, se sugiere a los estudiantes que analicen el video “Desafío de Estructuras 2010 – Universitat Jaume I de Castellón”, que se encuentra en: [https://www.youtube.com/watch?v=91\\_fS\\_3wyLc](https://www.youtube.com/watch?v=91_fS_3wyLc), en el que se aprecian las exposiciones de estudiantes de esta universidad, justificando y argumentando los elementos tecnológicos y técnicos de sus diseños, que van desde los preliminares hasta el definitivo.

Este video ofrece información muy enriquecedora para los estudiantes, ya que los estudiantes expositores realizan estudios muy completos en el marco de una experiencia igual o muy similar a la que se propone en el REI.

Al iniciar, los estudiantes expresan como establecieron sus diseños preliminares, y como en base al análisis estructural realizado, seleccionaron el modelo a desarrollar



Figura 39a. Diseños preliminares antes de realizar el análisis estructural



Figura 39b. Análisis estructural de los diseños preliminares



Figura 39c. Diseños definitivos con fundamento en el análisis estructural



Figura 39d. Diseños definitivos con fundamento en el análisis estructural

De igual forma, los estudiantes expositores, presentan sus procesos constructivos, haciendo énfasis en la argumentación los puntos que consideraron de mayor interés en el desarrollo de los mismos



Figura 39e. Procesos constructivos 1



Figura 39f. Procesos constructivos 2



Figura 39g. Procesos constructivos 3

En el video en trato se observa como después de realizar la exposición del desarrollo teórico del modelo, se realiza la comprobación de los supuestos expresados por los estudiantes, realizando la prueba física del prototipo

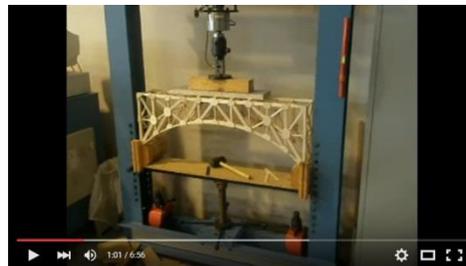


Figura 39h. Prueba física de los modelos

Durante y una vez realizada la prueba física, los estudiantes identifican diversos fenómenos que se presentan en el comportamiento estructural del modelo, así como los puntos de falla.



Figura 39i. Redistribución de cargas antes de la falla



Figura 39j. Identificación de puntos de falla

La información obtenida de este video, permitirá a los estudiantes reflexionar sobre todo el trabajo realizado hasta este momento, revalorar los conocimientos y nociones que han aplicado para en diseño teórico su propuesta de solución.

De igual forma, podrán identificar diversos saberes particulares sobre el proceso constructivo que les permitirá realizar una mejora al adaptarlos a su caso específico, partiendo de las experiencias de los estudiantes expositores y las propias.

De la observación de los fenómenos que se presentan durante el desarrollo de la prueba física podrán hacer más tangible el comportamiento que tienen las estructuras que han materializado, lo que se prevé, les generará una mejor comprensión del mismo, pudiendo aplicar mejoras al modelo, durante el proceso constructivo.

Finalmente, de la identificación de los puntos de falla de las estructuras probadas en el video, el estudiante se concientizará de la importancia de éstos, y se prevé que pondrá especial cuidado en la conformación de los mismos, conocimiento que es de suma importancia, tanto para el éxito en este proyecto didáctico, como para su practica profesional con estructuras reales.

Como último punto se solicita que el equipo de estudiantes, realice un reporte de esta última fase, con la finalidad de que sintetice toda la información obtenida, tanto de forma experimental mediante la modelación, como de forma teórica, a través de las fuentes propuestas, con la finalidad de que plasme los elementos que le han permitido desarrollar el proyecto propuesto en este Recorrido de Estudio e Investigación (REI).

### 3.6 Conclusiones

Del análisis a priori de las tres etapas que constituyen el Recorrido de Estudio e Investigación que se propone, se prevé que los estudiantes obtendrán nociones y saberes que permitirán la movilidad de los mismos, ya que estarán inmersos en la problemática, conocerán su génesis, las necesidades que deben atenderse, los factores que deben considerarse para hacer una propuesta de solución, los tipos de soluciones pre establecidas, los métodos de análisis necesarios para el calculo estructural del modelo, así como los aspectos más relevantes a considerar en la etapa de construcción.

Mediante el conocimiento de la evolución histórica de los puentes, los estudiantes se percatarán de las necesidades que dieron origen a los mismos, su evolución tecnológica a través de diversas culturas, el desarrollo de materiales que han permitido salvar accidentes geográficos de mayor longitud, los procesos constructivos, que les harán constatar que estos proyectos son asequibles, pues son la conformación geométrica de una serie de elementos de los cuales se aprovechan sus propiedades físicas y mecánicas.

El conocimiento de los tipos de puentes, los requerimientos de longitud de claro y condiciones de soporte, favorecerá las propuestas de solución iniciales de los estudiantes, pues de dichos prototipos, harán una selección, como lo haría un ingeniero civil en el campo práctico, que deberán justificar posteriormente mediante los métodos y técnicas pertinentes.

El conocimiento de la estructura tipo armadura, propicia para este tipo de construcciones, toda vez que están conformadas por elementos muy esbeltos, ya que reduce el peso propio de la estructura, promoviendo el alcance de mayores claros, y que debe cumplir con ciertos supuestos teóricos que deben plasmarse en el modelo para que su desempeño estructural sea como tal, provee a los estudiantes de la solución a la problemática desde el punto de vista de la ingeniería general, reduciéndola a la ingeniería de detalle, es decir, a la

distribución geométrica de los miembros que conforman la armadura propuesta, así como al conocimiento de las fuerzas que actuarán sobre ellos.

Para tal fin se guía al estudiante al estudio del método de nudos o nodos, propio de las armaduras, por lo que a través de este REI deberán reconocer los supuestos teóricos del precitado método, así como su desarrollo a través de planteamientos matemáticos que implican el uso de las ecuaciones de equilibrio, su planteamiento como ecuaciones simultáneas y su resolución para obtener las magnitudes de las fuerzas que actúan en cada miembro y su comportamiento estructural (compresión o tensión) y a partir de esto, diseñar las secciones transversales que deben tener cada uno de ellos a fin de lograr la mayor eficiencia posible en el modelo.

Con los elementos para el análisis estructural estudiados, y después del procesamiento de los datos realizando las modelaciones matemáticas que sean necesarias, ya sea de forma manual o mediante la utilización de una aplicación computacional, se prevé que los estudiantes serán aptos para la selección y diseño final de su modelo de puente, y capaces de explicarlos, argumentarlos y justificarlos.

Teniendo en cuenta los conocimientos acumulados, los estudiantes trabajarán en la materialización de su proyecto, en el cual plasmarán lo desarrollado intelectualmente, adaptándolo a las necesidades reales del proceso físico de producción, como lo haría un ingeniero civil de campo, el cual debe tomar decisiones sobre los procedimientos que utilizará, sin afectar los supuestos teóricos bajo los cuales se diseñó la estructura, ya que de hacerlo podría generar un desempeño estructural diferente y por tanto, la inoperancia del modelo.

Como se puede apreciar de lo antes descrito, este Recorrido de Estudio e Investigación (REI), es incluyente de una gran amalgama de conocimientos teóricos y prácticos, que coloca a los estudiantes en la necesidad de investigar, experimentar, analizar y justificar la solución propuesta, además de adaptarlos a las necesidades de aplicabilidad en un modelo, que debe funcionar en la realidad, desarrollando en los estudiantes saberes muy particulares y propios, facilitando la movilización de los mismos hacia la resolución de diversas problemáticas, tanto en su vida académica como en la profesional, con lo que queda manifiesto su gran potencial didáctico y la necesidad de realizar un estudio sobre el mismo para identificar la actividad matemática que se genera en torno a éste, y su inserción en el proceso de formación de futuros ingenieros.

## Capítulo IV

### 4 Análisis de la secuencia didáctica implementada con los estudiantes

---

#### 4.1 Introducción

En el presente capítulo se presenta el análisis de tres proyectos, elegidos por ser los más completos y los que más se apegaron a lo sugerido en las diferentes etapas de la experiencia didáctica aplicada, con el fin de mostrar la actividad de modelación desarrollada por los estudiantes. En los anexos de la tesis aparecen los documentos que constituyen la evidencia escrita de cada uno de los proyectos aquí analizados.

Cada proyecto será analizado por etapas, recordemos que cada proyecto consta de tres de éstas. En la primera el objetivo era “Investigar sobre el concepto de puente, los tipos existentes así como sus diferentes usos, dependiendo de las condiciones del claro a cubrir, como lo haría un profesional de la ingeniería civil”, en la segunda “Analizar, justificar la selección y describir el modelo de puente a construir, considerando los conceptos obtenidos y adicionados a su conocimiento a través de la Tarea 1” y en la tercera “Construcción o fabricación del modelo diseñado para su prueba física”.

#### 4.2 Análisis de la primera etapa de la implementación de la secuencia didáctica

Recordemos que esta primera etapa consiste en estudiar a través de ciertas obras, las que los estudiantes elijan tanto de las presentadas en el capítulo anterior como las que ellos consulten para desarrollar su proyecto, cuya cuestión inicial es:  $C_0$  ¿Cómo construir un puente con palitos de madera tipo abate lenguas? Que llevaría en esta primera etapa a abordar la cuestión  $C_1$  ¿Qué aspectos básicos o fundamentales se deben conocer para construir un puente con palitos de madera tipo abate lenguas? Para abordar esta cuestión  $C_1$ , se espera que en esta etapa los estudiantes estudien las siguientes cuestiones:

$C_{1,1}$  ¿Cuál es la definición de puente?

$C_{1,2}$  ¿Cómo surge el puente y cómo ha ido evolucionando a través de la historia?

$C_{1,3}$  ¿Cuáles son los tipos de puentes?

$C_{1,4}$  ¿Cuáles son los elementos a considerar para la selección de un puente?

Para analizar esta primera, analizamos el primer reporte entregado por cada uno de los equipos.

##### 4.2.1 Análisis del reporte entregado por el Equipo 1

Este equipo plasma elementos de la investigación realizada para responder las cuestiones antes mencionadas. Su reporte se inicia con una introducción en la que describen los alcances de la primera etapa, por ejemplo, los elementos que les aportó la investigación realizada, la evolución en los diseños del puente tipo Arco y el conocimiento relativo a los tipos de puentes más importantes o de uso más común, hoy en día. Enseguida proporcionan una definición de puente ( $R_{1,1}$ ), tomando en cuenta aspectos de funcionalidad de los

mismos, sin referir conceptos estructurales: “Un puente es una estructura destinada a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías.” Lo que significa que, en su formación de ingenieros, el beneficio que genera para la sociedad y sus actividades de desarrollo, ocupa un lugar preponderante, sobre el aspecto de funcionamiento estructural e inclusive sobre otros como lo son el económico o el estético.

Esta definición, fue obtenida de una fuente investigada por ellos mismos, disponible en el siguiente enlace electrónico: <http://ingepuentes.galeon.com/>. En esta liga electrónica, se encuentra información que aporta al estudiante conceptos técnicos sobre los componentes generales de un puente, como lo son la infraestructura y superestructura, refiriéndose a la primera como la cimentación de éste, mientras que la segunda está conformada por los elementos estructurales que se diseñarán a través de este REI. Al parecer dicha página es muy recurrida por este grupo de estudiantes y sus compañeros.

Un aspecto que cobra gran fuerza dentro de las argumentaciones y justificaciones presentadas por el equipo 1, para la elección del tipo de puente, es el histórico (R<sub>1,2</sub>). Su análisis se basa principalmente en una fuente diversa a las sugeridas, titulada “Historia de los puentes”, misma que se encuentra disponible en la liga electrónica [https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_los\\_puentes](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_los_puentes). En esta fuente se presenta una reseña histórica de la evolución de los puentes, así como de los materiales utilizados para la construcción de los mismos, como se ilustra en la siguiente cita:

El puente Arkadiko, de la cultura micénica, es uno de los cuatro puentes de falso arco que formaban parte de la red de carreteras, diseñada para acomodar las cariotas, entre Tiryns y Epidauros en el Peloponeso, en Grecia. Datan de la Edad del Bronce, siendo uno de los puentes arcos más antiguos que sigue en uso. Varios puentes arcos intactos han sido encontrados en el Peloponeso que provienen de la Edad helenística en el sur de Grecia. Todo parece indicar que los griegos desconocían el concepto de arco, pero sí los mesopotámicos que lo usaron en la arquitectura. De alguna forma los etruscos también aprendieron a usar el arco y transmitieron la técnica a los romanos. [...] El Renacimiento traería una nueva dimensión al diseño de puentes. En 1415 se recuperan los manuscritos de Vitrubio y además por esta época empiezan a reaparecer las ruinas de la época romana. Estos hechos provocaron que los ingenieros de aquella época retomaran el estilo clásico de los puentes. Volvió a adoptarse el arco de medio punto. Ejemplos de esto son el puente de Rialto en Venecia, Pont Neuf de París o el puente della Trinitá en Florencia. Con el paso de los años el puente no sólo se considera un elemento funcional sino también un elemento artístico de una ciudad, y sin duda un signo de poder e influencia respecto a otras ciudades. [...] El 1 de enero de 1781 se inauguró el puente de Coalbrookdale, el primero fabricado en hierro fundido. El puente (aún hoy en pie) es un puente arco metálico, a imitación de los de piedra, pero el material es completamente distinto, más resistente y más liviano. En 1795 el río se desbordó destruyendo todos los puentes que encontró, excepto el de Coalbrookdale lo que hizo que la gente empezara a confiar en este tipo de puentes. (Equipo 1, primer reporte, p.3).

De este apartado se puede apreciar la tendencia o preferencia del equipo por el puente tipo Arco, ya que dentro de la fuente se presenta información de otros tipos tales como los denominados, “En celosía y ménsula”, los “atirantados” y los “colgantes”, misma que omiten, por no considerarla importante para el sustento de su elección. Otro punto que debe resaltarse, es que los estudiantes no se percatan u omiten información relevante, en relación a la evolución de los materiales que se han utilizado para la construcción de las estructuras en trato y que a continuación se cita:

Según se fue avanzando en el conocimiento de los materiales y la forma en que éstos resisten y se fracturan hizo que se construyeran cada vez puentes más altos y con mayor vano y con un menor uso de materiales. La madera quizás fuese el primer material usado, después la piedra y el ladrillo, que dieron paso al acero y al hormigón en el siglo XIX. Y aún la evolución continúa hoy en día: en la actualidad nuevos puentes de fibra de carbono son diseñados con luces mayores y espesores nunca vistos antes. (Historia de los puentes, [https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_los\\_puentes](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_los_puentes), primer párrafo).

Actualmente, como se señala en la cita anterior, se utiliza la fibra de carbono, material que ha revolucionado la construcción de los puentes, por su poco peso y gran resistencia a la tensión. Además de ser utilizado ampliamente en la restauración o reparación de los puentes de concreto existentes, aplicada en forma de retícula exterior sobre las fracturas que se presentan en dichas estructuras.

Como apartado consiguiente, presentan los “Tipos de puentes” (C<sub>1,3</sub>), información que fue recopilada de una de las fuentes sugerida por los estudiantes, específicamente la disponible en <http://civilpuentesiupsm.blogspot.mx/2012/07/tipos-de-puentes.html>, la cual es un blog que además incluye datos sobre los puentes construidos en Venezuela, con fotografías y descripciones de los mismos, así como de los 10 puentes más largos del mundo, presentados mediante un video consistente en una secuencia fotográfica enriquecida con los datos de identificación y ubicación de las obras. Basados en esta fuente, presentan las definiciones de cinco tipos de puentes (R<sub>1,3</sub>): viga, ménsula, arco, colgantes y atirantados. En esta fuente, la descripción del puente tipo Arco es la que se presenta más completa, factor que pudo influenciar en su selección, como se puede apreciar de las siguientes citas:

#### Puente en Ménsula

Un puente en ménsula (en inglés cantilever bridge) es un puente en el cual una o más vigas principales trabajan como ménsula o voladizo. Normalmente, las grandes estructuras se construyen por la técnica de volados sucesivos, mediante ménsulas consecutivas que se proyectan en el espacio a partir de la ménsula previa. Los pequeños puentes peatonales pueden construirse con vigas simples, pero los puentes de mayor importancia se construyen con grandes estructuras reticuladas de acero o vigas tipo cajón de hormigón pos tensado, o mediante estructuras colgadas. (Equipo 1, primer reporte, p.4)

#### Puentes en Arco

Un puente de arco es un puente con apoyos a los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura con forma de arco con la que se transmiten las cargas. El tablero puede estar apoyado o colgado de esta estructura principal, dando origen a distintos tipos de puentes ya que da lo mismo. Los puentes en arco trabajan

transfiriendo el peso propio del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical. Normalmente la esbeltez del arco (relación entre la flecha máxima y la luz) es alta, haciendo que los esfuerzos horizontales sean mucho mayores que los verticales. Por este motivo son adecuados en sitios capaces de proporcionar una buena resistencia al empuje horizontal. Cuando la distancia a salvar es grande pueden estar hechos con una serie de arcos, aunque ahora es frecuente utilizar otras estructuras más económicas. Los antiguos romanos ya construían estructuras con múltiples arcos para construir puentes y acueductos. Este tipo de puentes fueron inventados por los antiguos griegos, quienes los construyeron en piedra. Más tarde los romanos usaron cemento en sus puentes de arco. Algunos de aquellos antiguos puentes siguen estando en pie. Los romanos usaron solamente puentes de arco de medio punto, pero se pueden construir puentes más largos y esbeltos mediante figuras elípticas o de catenaria invertida. (Equipo 1, primer reporte, p.4).

Como resultado de la ejecución de esta primera etapa, el equipo elige el puente tipo arco, mostrando las características más asociadas a la forma del puente y a la distribución geométrica de los elementos que lo componen (R<sub>1,4</sub>):

El puente que elegimos es de tipo arco, que es un puente con apoyos a los extremos de la luz, entre los cuales se hace una estructura con forma de arco con la que se transmiten las cargas. El tablero puede estar apoyado o colgado de esta estructura principal, dando origen a distintos tipos de puentes ya que da lo mismo. (Equipo 1, primer reporte, p.5).

Posteriormente hacen referencia del funcionamiento estructural de las piezas que lo conforman y la forma en se distribuyen las cargas hacia los apoyos, como se muestra a continuación:

Los puentes en arco trabajan transfiriendo el peso propio del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical. Normalmente la esbeltez del arco (relación entre la flecha máxima y la luz) es alta, haciendo que los esfuerzos horizontales sean mucho mayores que los verticales. Por este motivo son adecuados en sitios capaces de proporcionar una buena resistencia al empuje horizontal. (Equipo 1, primer reporte, p.5).

A partir de la información recopilada en su investigación, de un primer análisis sobre los elementos teóricos proporcionados por sus fuentes, los estudiantes establecen conclusiones sobre el funcionamiento estructural del tipo de puente que han seleccionado. Enseguida describen la forma de aprovechar este tipo de estructura para solventar distancias muy grandes. “Cuando la distancia a salvar es grande pueden estar hechos con una serie de arcos, aunque ahora es frecuente utilizar otras estructuras más económicas. Los antiguos romanos ya construían estructuras con múltiples arcos para construir puentes y acueductos” (Equipo 1, primer reporte, p.5). Es importante señalar que los estudiantes no logran, a partir del primer estudio de este tipo de estructura, visualizar que la profundidad del accidente geográfico a salvar podría ser un impedimento para soportar adecuadamente la serie de arcos, que refieren como solución para las grandes distancias. Su propuesta se sustenta en el desarrollo de este tipo de estructuras en la cultura romana.

Para ilustrar su trabajo, dentro de este apartado de conclusiones presentan un bosquejo de su propuesta (ver figura 40).

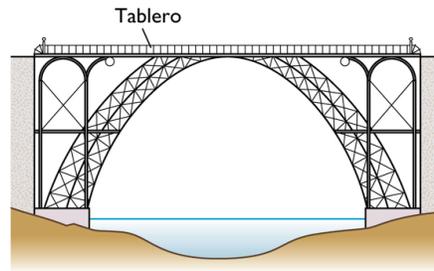


Figura 40. Bosquejo de la propuesta del equipo 1

En cuanto a las fuentes, estos estudiantes señalan la consulta y estudio de dos referencias, ambas efecto de su búsqueda: <http://civilpuentesiupsm.blogspot.mx/2012/07/tipos-de-puentes.html> y <http://historiaybiografias.com/puentes/>. Aunque del análisis del material presentado se aprecia que su investigación implicó otras fuentes electrónicas no significadas u omitidas por los estudiantes, en su reporte, y que a continuación se indican: <http://ingepuentes.galeon.com/> y [https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_los\\_puentes](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_los_puentes), las cuales fueron utilizadas para el desarrollo de esta primera etapa, ya que se presume, encontraron elementos que consideraron importantes para soportar la decisión sobre el tipo de puente a diseñar.

Del análisis de la información presentada en el reporte del equipo 1, se puede apreciar que este grupo ya tenía una idea definida sobre el tipo de puente a desarrollar, ya que está integrada con datos muy focalizados hacia las ventajas estructurales y la evolución histórica del puente tipo Arco. Es decir, mientras que los otros tipos de puentes fueron mencionados de forma somera, por así habérselos requerido en el escrito de aplicación correspondiente, los estudiantes proporcionan datos investigados, prácticamente en relación con el puente tipo Arco. Como corolario de este análisis se puede percibir que esta etapa de investigación permitió a los estudiantes en su condición de futuros ingenieros civiles, encontrar elementos que dieran sustento a lo que inicialmente consideraban como la estructura de mayor pertinencia para la solución de la problemática planteada.

#### 4.2.2 Análisis del reporte entregado por el Equipo 2

Siguiendo los puntos señalados en el escrito proporcionado para la implementación de la primera etapa de la secuencia didáctica que nos ocupa, el equipo 2, presenta en su reporte correspondiente los elementos solicitados, siendo este el equipo que más se apegó a dichos requerimientos. Inician con una introducción referida a una definición de puente, que los describe desde su aspecto funcional, pero no presentan un panorama general de lo que se realizará en esta primera etapa. Seguidamente presentan una definición amplia de puente (R<sub>1,1</sub>) (respuesta a la cuestión 1), atendiendo el aspecto histórico, sus usos o funcionamiento y finalmente se refieren al área de conocimiento requerida para el diseño de los mismos:

Los puentes se han convertido a lo largo de la historia no solo en un elemento muy básico para una sociedad, sino en símbolo de su capacidad tecnológica.

Un puente es una construcción que permite evitar un obstáculo natural como un accidente geográfico, un río, un cañón, un valle, un cuerpo de agua, o un obstáculo artificial como lo puede ser una carretera, un camino, una vía férrea, etc. El diseño de

cada puente varía dependiendo de su función y de la naturaleza del terreno sobre el que se construye.

Su proyecto y su cálculo pertenecen a la ingeniería estructural, siendo numerosos los tipos de diseños que se han aplicado a lo largo de la historia, influidos por los materiales disponibles, las técnicas desarrolladas y las consideraciones económicas, entre otros factores.

De la definición (R<sub>1,1</sub>), se percibe que los estudiantes dan importancia a diversos aspectos como es el bien común, al significar el papel del puente como parte de la historia, los beneficios que proporciona a la sociedad y su desarrollo, pero también la evolución de las técnicas y tecnologías para su proyecto y cálculo; elementos que surgen de su formación como ingenieros civiles. Los elementos de la misma se obtienen de una de las ligas sugeridas para el desarrollo de la investigación <http://es.wikipedia.org/wiki/Puente>. En cuanto a la Historia de los puentes, los estudiantes amplían la investigación y realizan una síntesis la información presentada en uno de los enlaces electrónicos propuestos, <http://es.wikipedia.org/wiki/Puente>, como se aprecia en las siguientes citas:

Posiblemente el primer puente de la historia fue un árbol que usó un hombre prehistórico para conectar las dos orillas de un río. También utilizaron losas de piedra para arroyos pequeños cuando no había árboles cerca. [...] Los siguientes puentes fueron arcos hechos con troncos o tablones y ocasionalmente con piedras, empleando un soporte simple y colocando vigas transversales. La mayoría de estos primeros puentes eran muy pobremente contruidos y raramente soportaban cargas pesadas. Fue esta insuficiencia la que llevó al desarrollo de mejores puentes. (Equipo 2, primer reporte, p.2)

Y la presentada en una propuesta por ellos, la cual está disponible en la siguiente liga electrónica, <http://puentes.galeon.com/historia/pontshistoria.htm>, la cual es otra de las páginas web, creada dentro del servicio que ofrece HispaVista disponible para tal fin, y que como se comentó en párrafos anteriores fue también utilizado por el equipo 1, para la búsqueda de la información sobre los tipos de puentes, pues dicha búsqueda es realizada a través de palabras clave, como se muestra en las siguientes transcripciones de su reporte:

Los puentes más antiguos de piedra fueron contruidos por los egipcios del Imperio Antiguo (h. -2500). Grandes constructores de puentes fueron los romanos, que asimilaron las técnicas de los etruscos y las desarrollaron posteriormente con magníficos resultados, según muestran los múltiples puentes que desafiando el paso del tiempo han llegado hasta la actualidad. [...] Durante la Edad Media el ritmo de construcción de puentes decreció de modo ostensible y se limitó prácticamente a la reconstrucción de algunos puentes romanos. La construcción era irregular y desproporcionada, con pilas enormes y arcos generalmente desiguales. [...] Con la Revolución industrial en el siglo XIX, los sistemas de celosía de hierro forjado fueron desarrollados para puentes más grandes, pero el hierro no tenía la fuerza elástica para soportar grandes cargas. Con la llegada del acero, que tiene un alto límite elástico, fueron contruidos puentes mucho más largos. (Equipo 2, primer reporte, p.2).

De los párrafos transcritos, se aprecia que los estudiantes realizaron una lectura cuidadosa de la información, presentando los elementos más importantes de la historia de

los puentes, partiendo desde sus orígenes, producto de las necesidades del ser humano. Asimismo, presentan los tipos más simples, su evolución a través de diferentes épocas y culturas, significando también la estrecha unión que dicha evolución tienen con el desarrollo y descubrimiento de nuevos materiales, que permiten aprovechar mejor sus características físicas y mecánicas.

En el apartado titulado Tipos de puentes, al igual que el equipo 1, la información contenida en la liga electrónica <http://civilpuentesiupsm.blogspot.mx/2012/07/tipos-de-puentes.html>, la cual surge como producto de su búsqueda, y en la que plasman las definiciones y características de cinco tipos de puentes: viga, ménsula, arco, colgantes y atirantados, por considerarlas suficientes. Así, responden a la segunda cuestión, su R<sub>2</sub> está dada por:

### **Puentes Colgantes**

Un puente colgante es un puente sostenido por un arco invertido formado por numerosos cables de acero, del que se suspende el tablero del puente mediante tirantes verticales. Desde la antigüedad este tipo de puentes han sido utilizados por la humanidad para salvar obstáculos. A través de los siglos, con la introducción y mejora de distintos materiales de construcción, este tipo de puentes son capaces en la actualidad de soportar el tráfico rodado e incluso líneas de ferrocarril ligeras. (Equipo 2, primer reporte, p.4)

En el siguiente punto de su reporte, este equipo presenta los elementos a considerar para la selección de un tipo de puente, sin que hasta este punto, se marque una tendencia o preferencia por alguno de los estudiados, indicando lo siguiente:

Los principales elementos a considerar para saber el tipo de puente más apropiado para el proyecto que se desee realizar es primero estudiar las condiciones del terreno en donde se realizara dicho puente, la longitud de dicho puente, las condiciones climáticas y su uso. (Equipo 2, primer reporte, p.4)

de donde se aprecia que, han seguido la secuencia de actividades propuesta en la experiencia didáctica, pues plasman de forma sintética los elementos que han sido señalados en algunos de los videos propuestos y que efectivamente serían los parámetros iniciales para realizar una propuesta de solución, tal como lo haría un Ingeniero Civil.

Producto de su investigación, proporcionan datos sobre las fallas más comunes en los puentes, como se ilustra a continuación:

- Fallo debido a corrosión
- A la fatiga de los materiales,
- Al viento,
- A un diseño estructural inadecuado,
- A terremotos,
- A un procedimiento inadecuado de construcción,
- Fallos fueron por sobrecarga o impacto de embarcaciones,
- Por materiales defectuosos
- Fallos fueron causados por crecidas (socavación).

Lo que implica que realizaron una búsqueda amplia de información adicional a la que encontraron en las fuentes sugeridas, y debido a que lo consideran importante, plasman factores de falla, como uno de los elementos a considerar la selección de un tipo de puente,

así como los materiales para construirlo, en relación con las factores primarios que señalaron. Aquí aparece una cuestión C<sub>5</sub>, ¿Cuáles son las fallas más comunes en la construcción de puentes? Y su investigación les permite generar esta respuesta para dar continuidad a su recorrido de estudio y de investigación (REI).

En su conclusión, hacen mención de la investigación realizada, englobando en aspectos muy generales los elementos que deberán considerar para la selección de su estructura, dejando la selección final a los elementos que obtendrán de las siguientes etapas de esta REI. Como último punto de su reporte proporcionan las fuentes, entre las que mencionan solo una de las sugeridas: <http://es.wikipedia.org/wiki/Puente>. Y otras tres que son producto de la investigación que realizaron, y que a continuación se listan:

<http://puentes.galeon.com/historia/pontshistoria.htm>, la cual es denominada “Otra Historia”, <http://civilpuentesiupsm.blogspot.mx/2012/07/tipos-de-puentes.html>, titulada “Tipos de puentes”. Así como el capítulo 1 de un anteproyecto cuya finalidad es realizar un diagnóstico del estado de los puentes en el Salvador, la cual se puede consultar en [http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/019116/019116\\_Cap1.pdf](http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/019116/019116_Cap1.pdf). Nos parece importante señalar que este equipo, no presenta croquis sobre la propuesta de solución, pues deciden esperar a los resultados y elementos que se recaben de las siguientes etapas.

#### 4.2.3 Análisis del reporte entregado por el Equipo 3

Este equipo, en esta primera etapa, presenta una introducción amplia, en la que describen en primera instancia, en qué consiste la investigación que realizarán, así como sus finalidades. Pasan a la definición de puente (R<sub>1,1</sub>) a partir de los materiales utilizados y sus usos, para después describir la conformación de la estructura, utilizando términos técnicos, propios del lenguaje ingenieril, como se aprecia en el siguiente párrafo:

Los puentes se dividen en dos partes principales: la superestructura, o conjunto de los tramos que salvan los vanos situados entre los soportes, y la infraestructura, formada por los cimientos, los estribos y las pilas que soportan los tramos. Los estribos van situados en los extremos del puente y sostienen los terraplenes que conducen a él; a veces son remplazados por pilares hincados que permiten el desplazamiento del suelo en su derredor. Las pilas son los apoyos intermedios de los puentes de dos o más tramos; los cimientos están formados por las rocas, terreno o pilotes que soportan el peso de estribos y pilas. Los tramos más cortos que conducen al puente propiamente dicho se llaman de acceso (Equipo 3, primer reporte, p.2)

En esta introducción incluyen aspectos históricos de la evolución de los puentes (R<sub>1,2</sub>), recabando información de fuentes producto de su investigación, como es el caso de la denominada “Tendiendo puentes” contenida en el siguiente enlace electrónico <https://sites.google.com/site/tendiendopuentes2015/introduccion/historia-de-los-puentes>, como se puede apreciar del siguiente párrafo de su reporte:

En el siglo XVIII para volver a ver nuevos avances en estas construcciones. Hans Ulrich, Johannes Grubenmann, y otros comenzaron a desarrollar las vigas, facilitando la construcción de puentes robustos. Hubert Gautier escribe, en 1716, el primer libro que se conoce en la historia sobre ingeniería para la construcción de puentes. Con la Revolución industrial en el siglo XIX, los sistemas de celosía de hierro forjado fueron desarrollados para puentes más grandes, pero el hierro no tenía

la fuerza elástica para soportar grandes cargas. Con la llegada del acero, que tiene un alto límite elástico, fueron construidos puentes mucho más largos, muchos utilizando las ideas de Gustave Eiffel. (Equipo 3, primer reporte, p.2)

Es necesario abundar sobre la fuente propuesta por los estudiantes, ya que en este enlace electrónico, se encuentra información muy valiosa para efectos de la experiencia didáctica que se presenta en este trabajo de investigación, ya que se trata de una unidad didáctica, desarrollada por la Universidad de Zaragoza, España, dirigida a estudiantes del tercer año de educación secundaria para desarrollar nociones y conocimientos sobre los conceptos básicos estructurales como son los esfuerzos de tensión, compresión, flexión, torsión, entre otros, sin que los estudiantes lleguen a conocer un método para la resolución de las estructuras, como por ejemplo el de nodos o nudos que se propone a través de la presente investigación, es decir, en la unidad didáctica, se dan los medios para que, mediante un simulador denominado “*Bridge Designer 2015*”, los estudiantes, a partir de diseños pre establecidos, realicen las adecuaciones necesarias para optimizarlos. Un punto importante a señalar es que el programa computacional ofrece la opción de crear diseños, aunque esta opción no forme parte de la secuencia didáctica que se propone para ese nivel educativo.

Posteriormente presentan una clasificación de los puentes, describiendo cada uno de ellos, en donde se puede apreciar que fueron integradas con sus propias palabras, partiendo de la información proporcionada en uno de los enlaces electrónicos sugeridos, videos denominados “Puentes- El mundo de Beakman”, y “Construcción de puentes” realizando una síntesis, para determinar las características más importantes de cada uno de los cuatro tipos descritos, entre los que consideraron: puente tipo viga, de arco, colgante y de tirantes (R<sub>1,3</sub>). Se presentan como ejemplo de su trabajo, dos de las clasificaciones de puentes propuestas por el equipo de estudiantes a partir de la información recabada de las fuentes enunciadas previamente:

#### Puente en arco

El más fuerte todos los bloques hacen presión, más el peso de lo que cubre los encaja fuertemente unos a otros, piedra angular piedra que da equilibrio y reparte las cargas de ambos lados del arco. Gran resistencia la técnica más empleada.

El peso del puente se reparte a través de la curva del arco que finaliza en unos soportes llamados estribos, estos asimilan las cargas del trafico al mismo tiempo soportan el peso de propio puentes impidiendo que los extremos se separen.

Cada una de las partes del arco está bajo compresión, por ello los materiales deben ser resistentes a la compresión (acero u hormigón pretensado) longitud de 150-200 m de puente. (Equipo 3, primer reporte, p.3)

#### Puente colgante

Cuelga de unos tirante con torres de 180-200 m de altura fijas unos cables a la orilla se pasan por encima de la torre y se fijan en la otra orilla el cable que atraviesa esta constituido de unos filamentos de cable más pequeños, después colgar el puente de los tirantes que bajan de los cables, pero asegurar del que puente que se cuelga el fuerte por los fuertes vientos y sismos. (Equipo 3, primer reporte, p.3).

De esta última definición referida al puente colgante, y dado que fue integrada por propias palabras de los estudiantes, a partir de los videos, se presume que los estudiantes pretendieron describir lo siguiente: “... para asegurar que el puente que se cuelga sea fuerte

para los fuertes vientos y sismos”. Idea que pretende significar que el diseño del puente debe proporcionar un modelo que prevenga los esfuerzos a que se sometería la estructura, en caso de presentarse vientos y sismos de gran magnitud.

En cuanto a los elementos más importantes para la selección de un tipo de puente ( $R_{1,4}$ ), refieren igualmente datos proporcionados por uno de los videos precitados, listándolos como puntos a considerar:

- ❖ Su elección y diseño está estrechamente ligados a la distancia que se quiera salvar
- ❖ Puente de viga es el más económica y sencillo
- ❖ Viga soportada en cada uno de sus extremos por un pilar distancias no mayores a 80m
- ❖ La parte superior de viga o losa se une con presión y la inferior tiende a separarse por tracción
- ❖ Materiales idóneos
- ❖ Hormigón pretensado que absorbe esfuerzo de compresión
- ❖ Barras de acero que absorben la fuerza de tracción

Todos los elementos mencionados, son tecnológicos ya que permiten guiar la técnica de construcción del puente. Además, hacen notar que tienen preferencia por el puente tipo viga, que surge de los conocimientos con los que se presume ya cuentan, en su condición de futuros ingenieros civiles. Ahora bien, en el apartado de conclusiones, que reflejan aspectos de funcionalidad de estas estructuras, así como las ventajas que generan para el desarrollo de las sociedades, poniendo de manifiesto su tendencia hacia la procuración del bien común, como lo debe hacer un profesionista de la Ingeniería Civil. Por último, plasman las referencias utilizadas, mismas que se aprecian a continuación:

#### Referencias

El Mundo de Beakman (2009). [Película].

Construcción de Puentes (2009). [Película].

varios. (2012). fortytwo.es. Obtenido de

<http://www.fortytwo.es/blog/2012/10/24/puentes-breve-historia-desde-la-antiguedad-hasta-nuestros-dias/>

Española, R. A. (2012). Real Academia Española . Obtenido de

<http://lema.rae.es/drae/?val=puede>

Megaconstrucciones, D. C. (Dirección). (s.f.). Puente California [Película].

varios. (2014). wikipedia en español . Obtenido de

[http://es.wikipedia.org/wiki/Puede#De\\_la\\_prehistoria\\_a\\_los\\_grandes\\_constructores\\_romanos](http://es.wikipedia.org/wiki/Puede#De_la_prehistoria_a_los_grandes_constructores_romanos)

varios. (s.f.). Galeon. Obtenido de <http://puentes.galeon.com/historia/historia.htm>

De éstas, las tres primeras fueron sugeridas para desarrollar el REI, mientras que las últimas tres resultaron como producto de la investigación realizada. En este equipo se aprecia que se realizó una investigación más amplia para la recopilación de los datos requeridos en el reporte, y sobre todo, un verdadero análisis.

#### 4.2.4 Primera etapa del REI

De manera general, podemos decir que los tres equipos efectúan la primera parte del Recorrido y responden las cuatro cuestiones señaladas al principio. En respuesta a la cuestión (C<sub>1,1</sub>), definen lo que es una estructura tipo puente a partir de los diferentes enfoques (funcionalidad, utilidad, estructuralmente, entre otros). En relación con la pregunta (C<sub>1,2</sub>) se forman una idea de los orígenes de estas estructuras y su evolución a través de la historia, asimismo, en referencia a la cuestión (C<sub>1,3</sub>) determinan y conocen las características generales de los cinco tipos de puentes principales o de mayor uso en el mundo actual, que son el tipo Viga, de Arco, Ménsula, Colgante y Atirantado. La cuarta cuestión (C<sub>1,4</sub>) relativa a los elementos que deben considerar para la selección de un puente, fue abordada por los estudiantes desde dos perspectivas: desde un enfoque general para ser aplicado a situaciones particulares, como lo hizo el equipo 2, que era lo “esperable” mediante esta etapa del REI, mientras que el equipo 3 lo enfoca desde una perspectiva particular y de aplicación al modelo que proponen como solución, que es el tipo viga. En el mismo orden de ideas, el equipo 1 no manifiesta los elementos para la selección de un puente.

Podemos inferir que los equipos 1 y 3 ya tenían una selección preliminar del tipo de puente a utilizar, razón por la cual sus trabajos de investigación plasmaron cierta tendencia hacia justificar su elección, los tipos de arco y de viga respectivamente. Por otro lado, aunque el equipo 2, también presenta indicios de que ya tenían una solución de su preferencia, dan el beneficio de la duda, a los resultados que el REI arrojara en sus siguientes etapas.

#### 4.3 Análisis de la segunda etapa de la implementación de la secuencia didáctica

El objetivo de esta segunda etapa es que los estudiantes continúen su análisis, justifiquen la selección y describan el modelo de puente a construir, partiendo de la interrogativa C<sub>2</sub> ¿Cómo realizar el diseño estructural de un puente construido con palitos de madera? y para abordar esta cuestión, se espera que en esta etapa los estudiantes estudien las siguientes cuestiones:

- C<sub>2,1</sub> ¿Cuál es la definición de armadura como elemento fundamental de un puente?
- C<sub>2,2</sub> ¿Cómo proponer una armadura que cumpla con los requerimientos del proyecto?
- C<sub>2,3</sub> ¿Cuáles son los métodos de análisis estructural para el cálculo y diseño de armaduras?
- C<sub>2,4</sub> ¿Cómo presentar los resultados del diseño del puente?

Al igual que para el análisis de la primera etapa, en esta segunda fase, consideramos el reporte entregado por cada uno de los equipos

##### 4.3.1 Análisis del reporte entregado por el Equipo 1

El equipo 1, sigue en esta etapa el siguiente proceso:

- 1) Realizar diagramas de modelos de puentes para su posterior análisis, el cual consistió en la evaluación de los elementos de los diferentes esquemas y así poder calcular sus componentes a partir de sus comportamientos (estructurales).
- 2) Destacan que para dicho análisis se utilizó un programa de diseño estructural (CESPLA), tomando en cuenta las condiciones de carga y de soporte.

- 3) A partir de los resultados obtenidos se seleccionó el modelo a construir
- 4) Posteriormente expresan la definición de armadura que consideraron pertinente, la cual fue presentada en el apartado correspondiente de esta sección del análisis.
- 5) Asimismo describen comportamiento estructural destacando la forma en que se transmiten las cargas hacia los apoyos, como lo propusieron en el apartado “Selección de modelos” de su reporte
- 6) Al retomar los “Elementos de consideración” manifiestan lo analizado en el apartado correspondiente, y que ya fue analizado en párrafos anteriores.
- 7) Luego indican el programa a utilizar (CESPLA) y hacen hincapié en que calcula los desplazamientos de los nudos que conforman la estructura, y en segundo término se refieren a los esfuerzos que se genera en los elementos como consecuencia de la aplicación de la carga.
- 8) Finalmente describen el comportamiento de la estructura y los ajustes realizados en función de las deformaciones que sufre la misma con la aplicación de la carga de diseño, hasta alcanzar el modelo que consideraron como óptimo.

Este proceso es analizado considerando la forma en que se responde a las preguntas C<sub>2</sub>, C<sub>2,1</sub>, C<sub>2,2</sub>, C<sub>2,3</sub> y C<sub>2,4</sub>.

En su introducción los estudiantes, presentan puntualmente los elementos seguidos en su línea de trabajo, mediante la cual realizaron el análisis, selección y descripción del modelo a construir, como se aprecia de las siguientes líneas del segundo reporte en su página 2:

El proceso general fue realizar diagramas de posibles modelos de puentes para su posterior análisis [...] El análisis se hará para evaluar los elementos que conforman cada elemento de los esquemas y poder calcular sus comportamientos [...] A partir de los resultados que se obtengan se realizará la elección del modelo a construir. (Equipo 1, segundo reporte, p.2).

Este equipo presenta una característica importante, la cual es que son estudiantes proactivos o procognitivos, ya que a partir de los elementos que se les sugirieron en el escrito de aplicación de esta etapa, se dieron a la tarea de investigar sobre los programas que les pudieran ser útiles para el análisis de la estructura en cuestión: “Para dicho análisis se utilizará un programa de diseño de armaduras que calcula a través del método de nudos los esfuerzos que se tendrán tomando en cuenta condiciones de carga y soporte de cada propuesta de modelo”. Este párrafo en la introducción, refleja el trabajo de investigación realizado por los estudiantes en ese sentido, pues se percibe que ya han experimentado con el programa, y están conscientes de las características del mismo, así como el método que utiliza para la resolución de las estructuras. Es importante destacar que los estudiantes se acercaron al docente para plantear el uso del mismo, indicando que el nombre del programa es CESPLA (Cálculo de Estructuras Planas), y además manifestaron la existencia del CESTRI (Cálculo de Estructuras Tridimensionales), para finalmente llegar al acuerdo de que se utilizará el primero. Esto, toda vez que la finalidad es el conocimiento sobre el método de nudos, como una técnica para la resolución de armaduras planas, mientras que el segundo mencionado, como su nombre lo indica, está destinado al cálculo de estructuras en tres dimensiones, lo que implicaría una comprobación manual más compleja.

En el siguiente punto de su informe, presentan una definición de armadura (R<sub>2,1</sub>), que a la letra dice:

Una armadura es un ensamble triangular que distribuye cargas a los soportes por medio de una combinación de miembros conectados por juntas articuladas, configurados en triángulos, de manera que idealmente todos se encuentren trabajando en compresión o en tensión pura y que todas las fuerzas de empuje se resuelvan internamente. (Equipo 1, segundo reporte, p.2)

Esta definición, resalta el perfil de los estudiantes, pues es muy específica y técnica, significando la forma general en que trabaja la estructura, su conformación geométrica, así como la forma en que trabajan los elementos que la conforman. Posteriormente, bajo el título “Selección de modelos”, exponen las razones que justifican su selección, la cual ya habían plasmado desde el primer reporte, la cual consiste en un puente tipo Arco, arguyendo la forma en que la estructura transmite la carga hacia los apoyos:

El modelo general que se seleccionó fue el puente tipo arco, ya que este tipo de puente trabaja a compresión en la mayor parte de la estructura. Específicamente estos puentes trabajan transfiriendo el peso propio del puente y las sobrecargas de uso hacia los apoyos mediante la compresión del arco, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical. (Equipo 1, segundo reporte, p.3)

Un aspecto importante a considerar en el párrafo anterior, es que insisten correctamente, en el argumento relacionado con la forma en que trabaja el arco, significando que es a compresión. Sin embargo, al presentar los “Elementos de consideración” (R<sub>2,2</sub>): los estudiantes manifiestan lo siguiente: “Al tener extremos resistentes, simulará una **viga empotrada** que en conjunto con el arco dará más resistencia a una carga aplicada” (Equipo 1, segundo reporte, p.3). Lo que refleja un obstáculo de comprensión, en cuanto al funcionamiento de dicha estructura, toda vez que los estudiantes han venido manifestando que los elementos que componen la armadura, trabajan a compresión o a tensión, además de que en su definición indican que dichos miembros están unidos mediante juntas articuladas, lo que significa que permiten libremente el giro en los extremos del mismo, por lo que no deben resistir momentos de giro; mientras que una viga empotrada en ambos extremos, debido al tipo de apoyo, impide todo tipo de desplazamientos en los extremos de la viga, es decir, no permite desplazamientos verticales, ni horizontales, ni de giro o angulares en los extremos de las vigas, produciendo momentos de giro o volteo en los miembros de la estructura, como se puede apreciar en la siguiente figura (2):

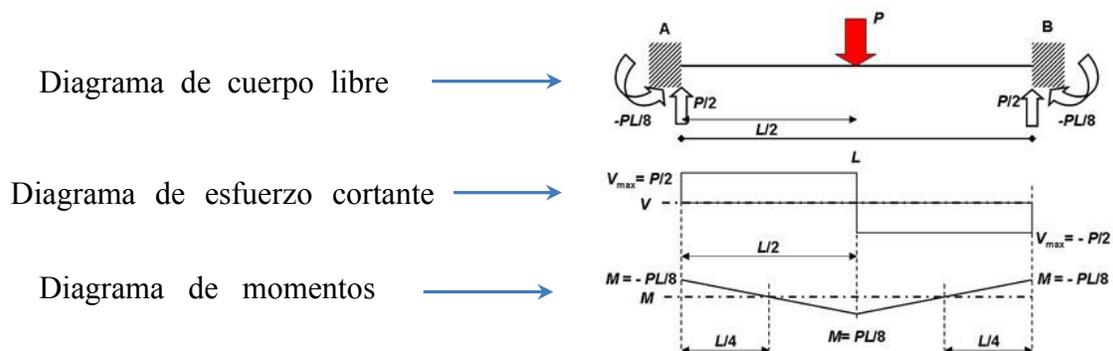


Figura 41. Diagramas de cuerpo libre (1), de esfuerzo cortante (2) y de momentos (3), de una viga doblemente empotrada, sujeta a una carga puntual al centro del claro

De la información sugerida en el documento titulado “Estructuras” mediante el enlace electrónico

<https://www.dropbox.com/s/5g1xnd72jns12ko/armaduras%20concurso.xps?dl=0> presentado en el capítulo III de este trabajo de investigación, recordemos dos de los supuestos que considera el método de nudos o nodos (R<sub>2,3</sub>):

- ❖ Todos los nudos se forman por pasadores sin fricción

Es decir, en las uniones no existe restricción al giro, por tanto no se producen esfuerzos en ese sentido.

- ❖ Se asume que sobre un elemento individual de una armadura, pueden actuar fuerzas, como las que se muestran en la figura (aquí llamadas 42 y 43).



Figura 42. Fuerza de tensión

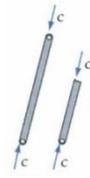


Figura 43. Fuerza de compresión

La figura 42 muestra una fuerza de tensión o tracción, que tiende a estirar el elemento y actúa a todo lo largo del mismo, mientras que en la figura 43 la fuerza actuante es de compresión, y el efecto es contrario, es decir, tiende a comprimir al elemento. De lo anterior, se aprecia que los estudiantes no revisaron detalladamente los documentos sugeridos en la etapa en trato o bien no alcanzan a percatarse de las implicaciones de la analogía propuesta, lo que deriva en una conceptualización errónea del funcionamiento de este tipo de estructura.

Como siguiente punto en su reporte presentan el análisis de la estructura, el cual fue realizado completamente mediante el programa computacional CESPLA (Cálculo de Estructuras Planas), que corresponde a (R<sub>2,4</sub>): anexando diagramas indicativos como los siguientes:

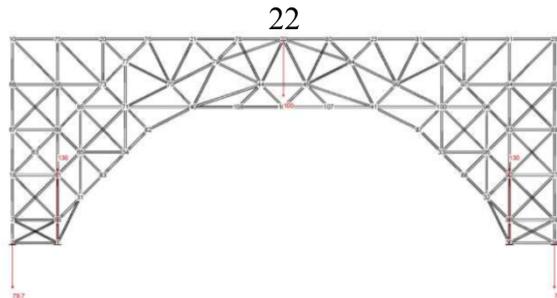


Figura 41. Diagrama indicativo de los números asignados a los nudos. (Equipo 1, segundo reporte, p.4)

A continuación, los estudiantes presentan los resultados de las deformaciones de los 107 nudos que integran su estructura, como parte de los resultados obtenidos mediante el programa computacional utilizado, como se muestra en la figura indicativa 45:

Nudo: 1  
 DX : -3.711108e-004 DY : -1.675586e-013  
 Nudo: 2  
 DX : -3.213234e-028 DY : 1.367673e-013  
 Nudo: 7  
 DX : 1.195516e-003 DY : 1.397224e-003  
 Nudo: 10  
 DX : 3.268427e-002 DY : 4.554534e-003  
 Nudo: 18  
 DX : 7.208989e-003 DY : 3.221868e-003  
 Nudo: 20  
 DX : 3.298470e-002 DY : -1.284047e-002  
 Nudo: 21  
 DX : 3.170804e-002 DY : -3.197518e-002

*Figura 42 (Indicativa). Resultados de las deformaciones de los nudos 1 a 21 de la estructura propuesta, ante la aplicación de la carga. (Equipo 1, segundo reporte, p.4)*

A pesar de no explicitarlo, se infiere que los estudiantes evidencian una tecnología asociada al diseño de estructuras, que han desarrollado en su condición de futuros Ingenieros Civiles; esto, ya que las deformaciones o desplazamientos de los nudos, como consecuencia de la aplicación de una carga, es un parámetro que debe controlarse y que ha sido motivo del desarrollo de nuevas tendencias en los métodos de diseño de estructuras. Por ejemplo, el caso del denominado “Por desempeño”, que básicamente obedece al análisis del comportamiento de una estructura ante la aplicación de una carga, para evitar deformaciones excesivas, y que posterior a ésta, conserve su condición de funcionalidad y servicio. Para ilustrarlo, consideremos un hospital después de un temblor, de nada nos serviría si esta instalación se conserva en pie, pero no puede recibir pacientes, porque como consecuencia se presentaron fallas eléctricas, de mobiliario, de equipos, entre otros.

Sin embargo, es igualmente importante señalar que para estas deformaciones, cuyas unidades de medida no son especificadas, son producto de una carga puntual hipotética con un valor de 100 unidades, las cuales tampoco son indicadas por los estudiantes. Por lo que no se puede constatar, si hay congruencia entre las mismas, haciendo imposible una interpretación adecuada de los resultados, situación que los estudiantes no alcanzan a visualizar. Se presume que la carga considerada por los estudiantes para el análisis con un valor de 100 unidades, es consecuencia de una indicación verbal realizada por el docente, en la presentación de la etapa de la experiencia didáctica en cuestión, al manifestarles que pudiesen proponer dicha carga el programa sugerido para el análisis estructural, dispuesto en el enlace electrónico <http://pages.jh.edu/~virtlab/bridge/truss.htm>, ya que dicho programa presenta solamente los resultados de las cargas a que se someterán los miembros de la armadura, ya sea a tensión o a compresión, y de esa forma se podría interpretar como un porcentaje de la carga total que resistiría el puente, situación que no es aplicable para el caso de las deformaciones, pues su cálculo implica otros parámetros.

Adicionalmente el equipo 1, adjunta tres diagramas que a continuación se presentan en las figuras 46, 47 y 48.

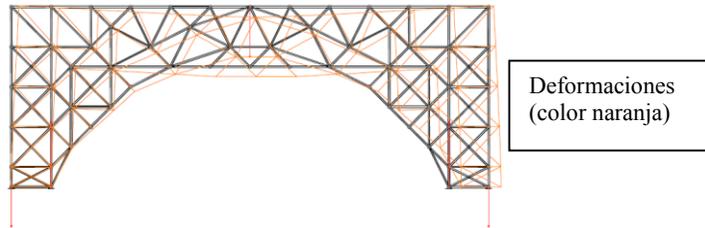


Figura 43. Deformación de la armadura propuesta ante la aplicación de la carga. (Equipo 1, segundo reporte, anexo)

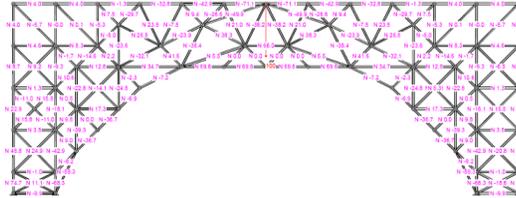


Figura 44. Esfuerzos axiales de los miembros de la armadura propuesta ante la aplicación de la carga. (Equipo 1, segundo reporte, anexo C2)

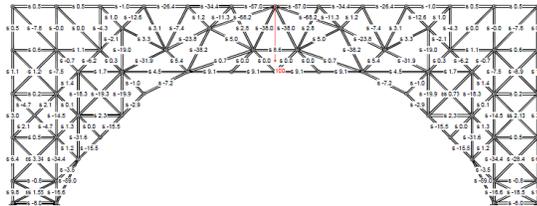


Figura 45. Esfuerzos a Tensión máximos de los miembros de la armadura propuesta ante la aplicación de la carga. (Equipo 1, segundo reporte, anexo C3)

Al respecto de la figura 46, es importante puntualizar que los estudiantes, no se percatan o al menos no lo manifiestan en su reporte, de diversos elementos que tienen implicaciones con las condiciones de los apoyos propuestos para el puente. En primer término, el desplazamiento de la armadura, al sufrir la deformación (en color naranja) producto de la carga puntual a la cual se somete, se da en dos sentidos:

Vertical.- al centro del claro, producida por la aplicación directa de la carga en el nudo superior en ese punto, identificado con el número 22, del diagrama indicado como la figura 4 del presente trabajo, la cual es proporcional y simétrica, hacia ambos lados de la estructura.

Horizontal.- Del diagrama presentado, se percibe que la deformación se da al lado derecho, debido a las condiciones de los apoyos propuestas, las cuales son simplemente apoyadas como se aprecia en la figura 49:

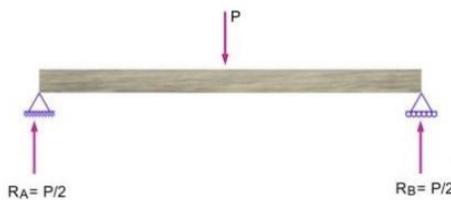


Figura 46. Viga o estructura simplemente apoyada

Esto implica que la estructura en el apoyo A, presenta restricción al desplazamiento horizontal y al vertical, mientras que en el apoyo B, hay solo restricción al desplazamiento vertical, más no al horizontal. Lo que se señala con los rodillos bajo el triángulo, y en ninguno de los dos apoyos hay restricción al giro, por lo que la estructura o viga soportadas en estas condiciones no soportarían momentos en los extremos, de ahí, que la armadura analizada por los estudiantes presente el tipo de deformación horizontal descrita.

Una observación importante, es que en el diagrama analizado, ningún elemento presenta alguna deformación de tipo pandeo, ya que no existen momentos de giro que actúen sobre ellos, es decir, todos se indican con líneas rectas entre un nodo y otro, debido a las condiciones de unión entre estos consideradas por el método.

Otro aspecto relevante, y que no es manifestado por los estudiantes, es que existe simetría en la estructura y en la aplicación de la carga, (al centro del claro), por lo que no es necesario el cálculo de toda la estructura en cuanto a esfuerzos de sus elementos, ya que ante tales condiciones, las cargas que soportan también son simétricas. Por lo que solo es necesario calcular los cargas axiales de la mitad de la estructura, lo que se generó probablemente por la utilización del programa, y el no haber experimentado el cálculo de forma manual, antes de la utilización del mismo, como se les sugirió en la experiencia didáctica.

Las figuras 7 y 8, son indicativas de los esfuerzos axiales de los miembros de la armadura, sin embargo son datos probablemente hayan sido examinados por los estudiantes para la determinación de las secciones transversales que ocuparían en cada elemento de la armadura, sin que esto se haya explicitado en el reporte que se analiza. Un dato interesante, es que la figura 8 se refiere a los esfuerzos de tensión máximos, pero no presentan un diagrama que indique los esfuerzos a compresión máximos. Hubiese sido interesante que se desarrollara el uso de estos datos para la determinación de las secciones transversales de los elementos de la estructura, ya que requeriría de datos como son la resistencia al esfuerzo de tensión y de compresión de la madera; logrando dicho cálculo con un concepto muy sencillo como es el de presión que implica la fuerza por unidad de área.

En cuanto a las ventajas del modelo seleccionado, los estudiantes explican que este tipo de estructura distribuye las cargas horizontalmente, como se observa en los siguientes párrafos de su reporte:

Durante el diseño del modelo se encontró que la carga la distribuye horizontalmente pudiendo tener una sección central más esbelta que sirva para librar el claro necesitado [...]. El diseño haría que las reacciones de los apoyos trabajen para que eviten el pandeo de la estructura en dirección de la carga aplicada. (Equipo 1, segundo reporte, p.7)

Se presume que el equipo 1, quiso manifestar que la carga es distribuida en dirección axial al arco en todo momento, por lo que en la parte central, se consideraría que es distribuida horizontalmente, dada la forma del arco, y que va cambiando de dirección acorde al desarrollo de éste hacia los soportes, en donde tendría una dirección vertical, como se describe en la figura 50 que se presenta a continuación:

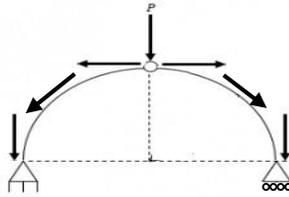


Figura 7.- Distribución de carga puntual a través de un arco

Este equipo indica que mediante el uso del programa computacional, después de varias modelaciones, les permitió la optimización del modelo original propuesto, ya que identificaron cuáles eran los elementos o miembros de la estructura que debían reforzar, sin indicar de forma analítica cómo realizarían dicho refuerzo, lo cual pudo haberse propuesto mediante el parámetro de la resistencia ya sea a tensión o a compresión de la madera, según fuera el caso. “Analizando el modelo en el programa, se decidió ponerle refuerzos en el arco para que trabajen a tensión de forma que no se abra la estructura” (Equipo 1, segundo reporte, p.7)

Aquí se percibe que las fuerzas axiales y esfuerzos a tensión obtenidos de los diagramas respectivos, correspondientes a las figuras 7 y 8, fueron utilizados por los estudiantes para reforzar algunos elementos, sin que se manifieste el uso de algoritmos para determinar la sección mínima requerida en cada caso. Consiguientemente el equipo 1 presenta un esquema denominado “Plano”, elaborado en computadora, indicando las dimensiones principales del puente a construir, sin indicar las unidades de medida, que por deducción se consideran centímetros (cm), proporcionando una vista frontal y una lateral del modelo (Figura 51).

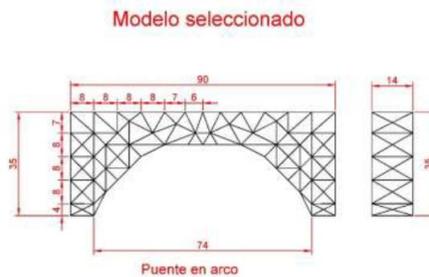


Figura 58. Bosquejo del modelo seleccionado “Plano”

En el apartado de conclusiones, el equipo de estudiantes justifica y explica su elección, fundamentados en las características de la estructura y su funcionalidad, reflejando aspectos de su formación como futuros ingenieros civiles. En un último párrafo de este apartado, hacen referencia a las secciones transversales de los miembros que constituyen la armadura, proponiendo el refuerzo de aquellos sujetos a mayores cargas, aún sin establecer algún método, como se aprecia en las siguientes líneas de su reporte:

El modelo que se evaluó, se consideró como si todos los elementos tuvieran la misma sección, por lo tanto, los elementos que tienen mayor esfuerzo son los elementos que será necesario reforzar más, en otras palabras, los que van a tener mayor sección. (Equipo 1, segundo reporte, p.8)

#### 4.3.1.1 Obras consultadas por los estudiantes

En cuanto a las obras consultadas por este equipo, ellos en su propia investigación encuentran las siguientes:

El enlace electrónico disponible en <http://www.civilpuentesiupsm.blogspot.mx> contiene información relativa a los 10 puentes más largos del mundo, siendo el caso que ninguno por supuesto es de arco, los tipos de puentes ya revisados en la primera etapa de esta experiencia didáctica, y un video titulado “146 años de historia de los puentes”, enlace que parece muy completo y que se va actualizando regularmente.

El siguiente enlace electrónico propuesto por los estudiantes es <http://www.civilgeeks.com> en el cual ofrece información de temas relacionados con la Ingeniería Civil en sus diferentes ramas, incluyendo el análisis estructural, área de conocimiento que nos compete en este REI. Asimismo, información relativa a libros, ensayos, apuntes publicados y programas computacionales pertinentes al área que nos ocupa.

El siguiente enlace electrónico es <http://blog.construdata21.com/> página que presenta información de obras de construcción en el mundo, y que contienen además novedades en lo relativo a sistemas y métodos novedosos de construcción, información que puede brindar ideas a los estudiantes para hacer más eficientes sus modelos a desarrollar.

Posteriormente, refieren el enlace <http://www.ingenieriacivil.com> el cual contienen información técnica sobre métodos de construcción, desde un aspecto práctico, es decir de la ejecución de la obra en sí.

La última de las referencias es la liga electrónica <http://www.elconstructorcivil.com> en donde se puede encontrar información diversa de elementos estructurales, probablemente fue consultada por los estudiantes para conocer métodos de construcción de estructuras.

Aunque no fue explicitada por los estudiantes, utilizaron el enlace electrónico disponible en <http://www.arqhys.com/contenidos/armaduras.html> de donde obtuvieron una definición de armadura, que contuvo los elementos necesarios para proponerla como parte de su reporte.

Como último punto de su reporte, los estudiantes realizaron un video, dispuesto en <https://www.dropbox.com/s/ht1ckkol3rqojax/Video%20puentes%20fase%202.mp4?dl=0> en este video, el Equipo 3 señala que se presentan antecedentes y resultados parciales de las investigaciones así como del diseño del puente elaborado con palitos de madera tipo abate lenguas. Un punto que resalta en el trabajo de este equipo, es que a pesar de que realizaron su diseño mediante la aplicación de un programa computacional, los estudiantes no alcanzaron a percatarse que el objetivo era el aprovechamiento óptimo del material proporcionado, en función de las condiciones de carga y de apoyos, para lograr la máxima carga que se pudiera soportar con los recursos dispuestos para tal fin. Es decir, su diseño fue regido por la carga que ellos propusieron (100 unidades), y no por las limitantes de materiales y condiciones del claro a salvar.

#### 4.3.2 Análisis del reporte entregado por el Equipo 2

El equipo 2, en la introducción de este segundo reporte, se puede apreciar que los estudiantes de este equipo, fueron influenciados por el aspecto histórico para la selección del puente, lo que se advierte del siguiente párrafo: Con esta información los integrantes del equipo decidiremos el tipo de puente a emplear que tipo de estructura realizar, nosotros optamos que la mejor opción es la de un arco basados en los hechos en la antigüedad (Equipo 2, reporte 2, p.1). A continuación presentan un apartado que titulan “Armadura”, en el que proporcionan una definición de armadura (R<sub>2,1</sub>): "Se denomina armadura la estructura formada por un conjunto de piezas lineales (de madera o metálicas) ensambladas

entre sí, que se utiliza para soportar la cubierta inclinada de algunos edificios”. (Equipo 2, reporte 2, p.1). De donde se aprecia que los estudiantes seleccionaron una definición que resalta la funcionalidad de este tipo de estructuras, aunque ésta es para techumbres y no para puentes, discrepando del uso que tiene en este REI, como se ilustra a continuación.

En la armadura de una cubierta se distinguen los "cuchillos" formados por un conjunto de piezas situadas en un plano vertical de modo que permite salvar la luz del edificio, y que sirve para apoyar en ellos otras piezas situadas en el plano de los faldones de la cubierta... Los dos extremos inferiores de los dos pares quedan unidos por una tercera pieza denominada tirante...se sitúa la viga caballete o cumbreira, que une los puntos superiores de los cuchillos. (Equipo 2, reporte 2, p.1)

Tipos de armaduras

\*Armadura de dos aguas. La que forma dos vertientes para arrojar de cada lado del edificio las aguas llovedizas lejos de sus muros.

\*Armadura molinera. Aquélla cuyos pares cargan sobre las paredes en dirección perpendicular y sobre ellos se ponen los ramajes, zarzos, cañas o tablas paralelas a las paredes y encima, las tablas con dirección opuesta. (Equipo 2, reporte 2, p.2)

Aparece aquí su respuesta (R<sub>2,2</sub>), la obra consultada fue, “Armadura (construcción)” que se puede consultar en [https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura\\_\(construcci%C3%B3n\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(construcci%C3%B3n)) la cual contiene información correcta, pero que no es pertinente a la finalidad de la REI.

Posteriormente, los estudiantes presentan las razones por las cuales han seleccionado el puente tipo arco, además de las históricas, apuntalan su selección con aspectos de funcionamiento estructural, proporcionando analogías y ejemplos muy claros que permiten relacionar ese funcionamiento estructural con la vida cotidiana

Debido a que los elementos individuales que conforman al arco, trabajan en conjunto para que una fuerza aplicada al centro, sea distribuida de igual forma por ambos extremos, siendo cada parte de suma importancia. Esta forma de construir, depende no tanto de los materiales, sino de la forma natural del traslado de fuerza hacia el suelo. [...] El ejemplo más claro de su resistencia es un huevo, que al aplicarle carga por uno o ambos polos, soportan grandes cantidades de presión. Por su propia morfología las dovelas (nombre técnico de los elementos individuales del arco) están sometidas a esfuerzos de compresión, fundamentalmente, pero transmiten empujes horizontales en los puntos de apoyo, hacia el exterior, logrando trasladar las fuerzas al terreno. (Equipo 2, reporte 2, p.3)

En el párrafo final de este apartado, los futuros ingenieros manifiestan uno de los aspectos más importantes de su formación, al manifestar “la verdadera ingeniería es hacer más, con lo poco que se tiene” (Equipo 2, reporte 2, p.3), la cual resume el concepto de eficiencia que se busca desarrollar mediante el REI implementado, y continúan “si los grandes imperios confiaron en su expansión, a este tipo de estructura, porque nosotros debemos ir en contra de ellos” (Equipo 2, reporte 2, p.3), ideas con las cuales dan sustento a la elección del puente tipo Arco, que proponen como solución idónea para la problemática planteada.

En el siguiente apartado, presentan el croquis bidimensional de su propuesta de armadura, elaborado con equipo de geometría, identificando mediante colores los elementos que están sujetos a los diferentes tipos de cargas (compresión, tensión, neutro), los cuales fueron

determinados a partir del desarrollo manual del método de nudos, como fue sugerido en el escrito de aplicación correspondiente y que conforman su respuesta ( $R_{2,3}$ ): .

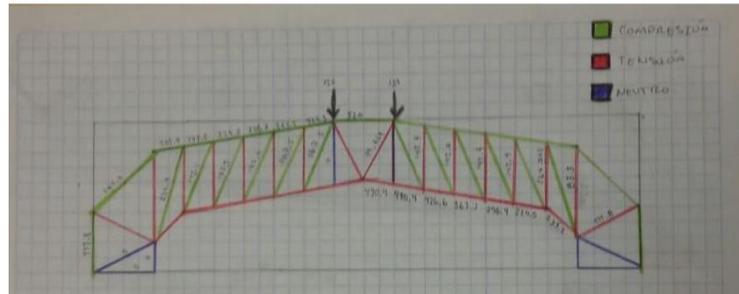


Figura 9. Croquis de la armadura propuesta, significando en colores los esfuerzos a los que se someten sus elementos ante la aplicación de dos cargas puntuales simétricamente aplicadas

Se destaca de este croquis que, probablemente añadieron los elementos neutros en los soportes para dar estabilidad al puente, y que debido al análisis estructural realizado se percataron que por motivo de la posición, dichos elementos no trabajan estructuralmente. Enseguida, presentan los cálculos manuales ( $R_{2,3}$ ) para la determinación de los esfuerzos graficados en la figura 52, como se aprecia de las figuras 53 y 54.<sup>1</sup>



Figura 53. Cálculos utilizando el método de nudos para la estructura propuesta

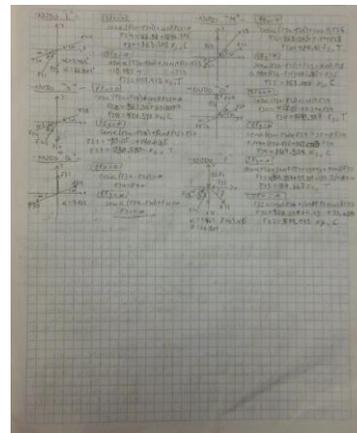


Figura 54. Continuación de Cálculos utilizando el método de nudos para la estructura propuesta

A partir del croquis presentado (Figura 52) y de los cálculos realizados por este equipo (Figuras 53 y 54), se deduce que, a diferencia del equipo 1, tienen una buena comprensión del método utilizado, específicamente en los aspectos de simetría, ya que, los cálculos solo fueron realizados para la mitad de los nudos o nudos que conforman la armadura; lo que también es significado en el croquis al colocar los resultados obtenidos alternadamente, es decir, de un lado y del otro, dado que los valores se repiten simétricamente, en torno al eje central de la estructura analizada. Se aprecia que los cálculos fueron realizados suponiendo dos cargas puntuales propuestas de 150 kg cada una, para un total de 300 kg que sería la carga máxima a soportar por esta estructura. Al igual que el equipo 1, estos estudiantes rigen el diseño de su modelo por una carga propuesta por ellos mismos, y no a partir del máximo aprovechamiento de los recursos materiales con los que cuentan, a pesar de haber

<sup>1</sup> Los estudiantes presentaron así en se reporte los cálculos y no pudimos mejorar la imagen para este trabajo.

expresado lo contrario con la frase “la verdadera ingeniería es hacer más, con lo poco que se tiene”.

Consecutivamente, el equipo presenta dos vistas, longitudinal (Figura 55) y transversal (Figura 56), del modelo a construir, elaboradas mediante un programa computacional, en los que presentan los miembros de la estructura con cierta dimensión (sin escala) de ancho, y no significándolos con simples líneas rectas, indicando mediante etiquetas algunos elementos que la componen, con un lenguaje estructural (trabes de unión, carretera, etc.), señalando los puntos de unión o nudos, proporcionando las dimensiones generales y particulares, tal y como les fue sugerido en el documento de aplicación enviado para la ejecución de esta segunda etapa.

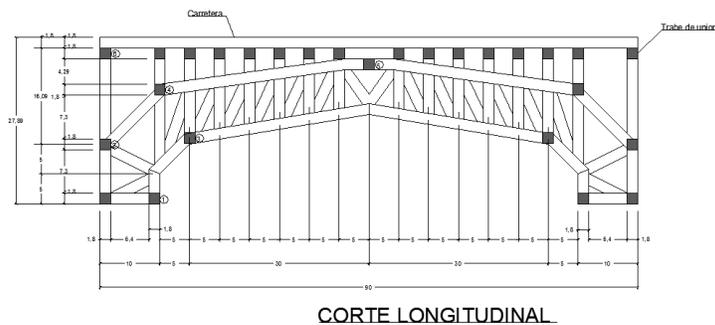


Figura 10. Vista longitudinal acotada en centímetros de la estructura propuesta

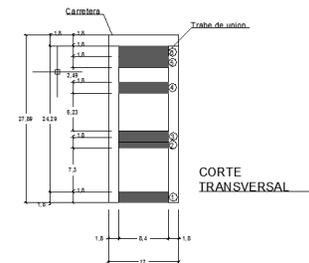


Figura 56. Vista transversal acotada en cm de la estructura

Los estudiantes no indican las unidades de medida en los esquemas presentados, pero se deducen por la comparación con las medidas proporcionadas de disposición de espacios proporcionadas en los documentos de aplicación del REI. Asimismo, los estudiantes proporcionan junto a la vista lateral del modelo a desarrollar, un esquema dimensional del elemento base para construir su puente, el cual es meramente indicativo, ya que no guarda proporción con la vista precitada, como se observa de las figuras 57 y 58.

### MEDIDAS DEL ABATELENGUAS

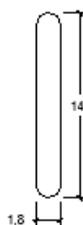


Figura 57. Medidas del elemento de madera tipo abate lenguas a utilizarse

### MEDIDAS DEL ABATELENGUAS

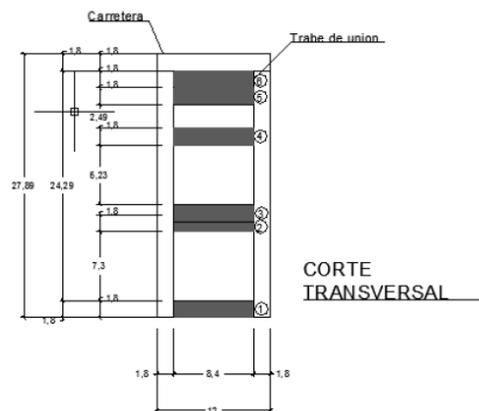


Figura 58. Vista transversal completa

Subsecuentemente, el equipo 2 proporciona diferentes vistas tridimensionales, en blanco y negro y a color, sin acotamiento ni escala, desde diferentes perspectivas, las cuales se presume, tienen la finalidad de que se aprecien todas las piezas que constituyen su diseño, (ver figuras 59, 60 y 61).

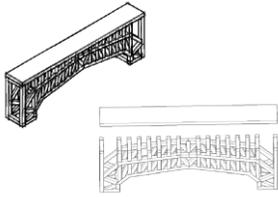


Figura 59. Vistas tridimensionales blanco y negro

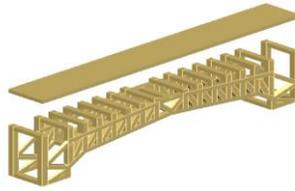


Figura 60. Vista tridimensional a color

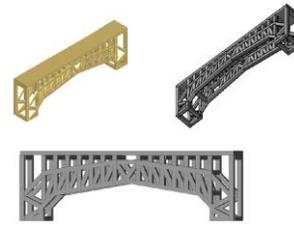


Figura 61.- Vistas tridimensionales en diferentes tonalidades

En sus conclusiones prospectan una carga de 300kg como resistencia última de su estructura, argumentando que se debe al tipo de material y a la forma en que están dispuestos en su proyecto, en el que significan que han reforzado los puntos que consideraron lo necesitaba, con base en los resultados de las deformaciones obtenidas del análisis estructural realizado. Lo que implica que tal vez utilizaron un programa de diseño estructural, que no significan es su escrito, pues mediante el sugerido, no es posible obtener las deformaciones en la estructura.

#### 4.3.2.1 Obras consultadas por los estudiantes del equipo 2

En cuanto a las referencias proporcionadas, se puede apreciar que realizaron un trabajo de investigación arduo, ya que todas son diversas a las que se proporcionaron como parte del REI, las cuales se examinan a continuación:

La primera fuente proporcionada por los estudiantes, es titulada “El constructor civil” y se puede encontrar información diversa de temas estructurales. Probablemente fue consultada por los estudiantes para conocer métodos de construcción y de análisis de estructuras, como lo hicieron los estudiantes del Equipo 1 en esta segunda fase, ya que no se advierte del reporte, el uso de la información que ahí se presenta. Es posible consultarla en el siguiente enlace electrónico <http://www.elconstructorcivil.com/2013/08/armaduras-construccion-de-edificios.html>

La segunda fuente consiste en un artículo publicado dentro de una página Web cuya finalidad es publicar un directorio de bienes raíces, por lo que se considera una fuente no muy confiable para los fines que se persiguen en el REI que nos atañe. Esta información pudo haber influido para la desinformación en la que incurrió este equipo al presentar su definición de armadura. Es posible acceder a esta en la liga electrónica <http://www.nosmudamos.net/Construccion/armadura-de-construccion.html>.

La tercera fuente es “Armadura (Construcción)” en la que se presenta información relativa a armaduras destinadas para techumbres, uso diverso al que se pretende en este REI. Página disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Armadura\\_\(construccion\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Armadura_(construccion))

La siguiente fuente es la dispuesta en <http://www.oocities.org/mx/jgvare/Nudos.pdf>, de su revisión se aprecia que presenta un método de nudos, el cual es utilizado en el área de conocimiento eléctrico y es pertinente para este REI.

Enseguida, los estudiantes consultaron la fuente denominada “*Garret’s Bridges*” disponible en: <http://www.garrettsbridges.com/building/popsicle-sticks/> que contiene información muy relevante para el REI, ya que a través de sus diferentes pestañas, proporciona información para el diseño y la construcción de puentes elaborados con elementos de madera tipo palitos de paleta (*popsicle-sticks*). Asimismo, presenta métodos para probarlos mediante la aplicación de cargas, fotos y videos acerca de modelos construidos previamente y videos de sus pruebas físicas, así como ligas electrónicas que conducen a diferentes simuladores para el diseño de estas estructuras, entre las que se encuentran algunas las sugeridas en el REI.

Otra fuente es la denominada “*Tension and compression test*” en donde se aprecian fotografías de dispositivos utilizados para realizar las pruebas de tensión y compresión a elementos de madera tipo abate lenguas, dispuesta en <https://yaqoobipolytechnic.wordpress.com/2012/03/31/tension-and-compression-test/>

Los estudiantes recopilaron información sobre las características físicas de la madera consultando la página Web titulada “*Workshop Companion*”, en donde se encuentra una tabla con las resistencias a compresión y a flexión, dureza y rigidez para diferentes tipos de madera, así como la forma correcta de utilizarla aprovechando la beta de la misma, en [http://workshopcompanion.com/KnowHow/Design/Nature\\_of\\_Wood/3\\_Wood\\_Strength/3\\_Wood\\_Strength.htm](http://workshopcompanion.com/KnowHow/Design/Nature_of_Wood/3_Wood_Strength/3_Wood_Strength.htm) Como última referencia, consultan el artículo titulado “Bajalenguas” ya que este es el elemento base para la construcción del modelo, en donde se proporcionan las dimensiones universales de éstos, disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Bajalenguas>

Finalmente, realizan el video solicitado, en el que manifiestan el recorrido seguido para seleccionar su puente, disponible en: <https://www.dropbox.com/s/6515kbek853be8i/puentes.mp4?dl=0>.

### 4.3.3 Análisis del reporte entregado por el Equipo 3

Este equipo de estudiantes, refiere en la introducción del segundo reporte, las áreas de conocimiento dentro de la Ingeniería Civil que consideran están relacionadas al diseño de los puentes. “[...] se trata de la aplicación de conocimientos adquiridos en las materias de resistencias de materiales, concreto armado y específicamente en el análisis de estructuras” (p.1). Enseguida, muestran el origen de estas estructuras, “... al llegar a un curso de agua o quebrada, inmediatamente la idea de valerse de algún elemento que permita el paso...” Luego señalan que el diseño y la construcción son dos elementos indispensables que deben ser considerados. Los estudiantes proporcionan enseguida una definición de armadura ( $R_{2,1}$ ):

Ensamble triangular que distribuye cargas a los soportes por medio de una combinación de miembros conectados por juntas articuladas, configurados en triángulos, de manera que idealmente todos se encuentren trabajando en compresión o tensión y que todas las fuerzas de empuje se resuelvan internamente. (Equipo 3, Segundo reporte, p.4)

Definición que da un aspecto preponderante al aprovechamiento de la configuración geométrica de los miembros para distribuir cargas y aprovechar al máximo las características físicas y mecánicas de los mismos, no indicando cuales podrían ser sus usos

prácticos. Posteriormente, en su escrito, presentan una clasificación de las armaduras ( $R_{2,2}$ ), significando básicamente dos tipos: las planas (objeto de este estudio) y las espaciales. En cuanto al primer tipo, las planas, definen los componentes básicos, presentando terminología propia del lenguaje en la ingeniería estructural aplicado a armaduras:

#### Armaduras planas.

Son aquellas que tienen todos sus miembros en un mismo plano, por lo que reciben este nombre. Estas solo pueden resistir aquellas fuerzas que están en su plano. En este tipo de armadura se unen tres barras en sus extremos mediante pasadores, de manera que se forme un triángulo de forma geométrica estable. A los puntos en los que se unen los extremos de las barras se les llama juntas o nodos. Está compuesta por miembros usualmente rectos. Todas las armaduras conformadas por elementos triangulares unidos entre si forman una estructura estable. (Equipo 3, Segundo reporte, p.4)

Del párrafo anterior, se perciben aportaciones importantes que ayudan a la comprensión de los elementos que conforman una armadura, así como de la forma en que resistirán las cargas, haciendo énfasis en la figura del triángulo como la deseable, con la finalidad de dar estabilidad a la estructura. Un aspecto importante es que en la definición en comento, no se establecen los tipos de esfuerzos o cargas que resisten los elementos así conformados. Presentan un buen aporte a las condiciones que deben revisarse, antes de aplicar el método de nodos propuesto para la solución de armaduras ( $R_{2,3}$ ):

Existen estructuras que pueden ser convertidas en más estables agregando algún miembro que cambié la forma geométrica de las partes que la conforman. Cuando se agregan más miembros de los necesarios para hacer de una estructura algo más estable, las fuerzas de las barras no podrían ser determinadas a partir de las ecuaciones de estáticas y la armadura sería considerada estáticamente indeterminada. Este miembro adicional recibe el nombre de redundan.

Derivado de lo anterior, los estudiantes presentan un criterio para evaluar la estabilidad de las estructuras ( $R_{2,3}$ ), “El número de barras es igual al doble del número de nodos menos dos, más la barra original. De esta forma:”

$$n = 2(j - 2) + 1$$

$$n = 2j - 3$$

donde  $n$  es el número de barras, y  $j$  es el número de nodos.



Figura 62. Criterio de estabilidad de la armadura plana

Como se aprecia, el criterio a seguir propuesto por los estudiantes, para considerar una armadura como “estable” es  $n = 2j - 3$ , siendo el único equipo que lo significa en su reporte, a pesar de ser determinante para la aplicación del método de nudos. A continuación, los estudiantes indican los puntos para considerar una armadura como espacial o “en el espacio”, partiendo de sus diferencias con la descrita como plana ( $R_{2,2}$ ), indicando que la figura estable es un tetraedro, estableciendo la existencia de una relación

entre barras y nudos para determinar su estabilidad ( $R_{2,3}$ ), la cual no desarrollan en forma algorítmica o bien omiten presentar, probablemente de forma involuntaria.

[...] Las armaduras en el espacio son aquellas que forman un armazón estable y no está en un solo plano. A diferencia de las armaduras planas, las armaduras en el espacio requieren de un elemento básico diferente al triángulo. En este caso, se agregan otras barras fuera del plano del triángulo principal, formando un tetraedro básico. [...] Al igual que en las armaduras planas, las armaduras en el espacio también tienen una relación definida entre las barras y el número de nudos, para lograr estabilidad. El número de barras es el triple del número de nudos menos cuatro. (Equipo 3, Segundo reporte, p.5)

Enseguida presentan dibujos esquemáticos (Figura 63) con la finalidad de ejemplificar las estructuras en el espacio o tridimensionales

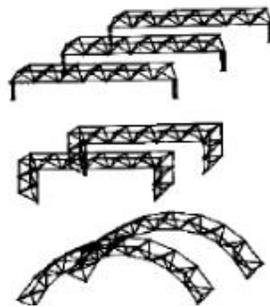


Figura 63. Figura ilustrativa de armaduras en el espacio

En el apartado siguiente de su reporte, titulado “Análisis de armaduras”, los estudiantes presentan una descripción muy completa sobre el método utilizado para el cálculo de armaduras ( $R_{2,3}$ ), significando al final que son dos los métodos a utilizarse, “Son dos los métodos utilizados para analizar las armaduras planas: método de los nudos y por secciones”. Enseguida proporcionan una descripción de las consideraciones y supuestos para la aplicación del método de nudos ( $R_{2,4}$ ), para las armaduras planas, dando una guía práctica para el desarrollo del mismo, como se aprecia de las siguientes líneas de su reporte:

El análisis siempre comienza por un nudo del que se conozca por lo menos una fuerza y no tenga más de dos fuerzas desconocidas. De esta manera, de las fuerzas descompuestas en sus componentes resultan ecuaciones algebraicas que pueden ser resueltas para las dos incógnitas.

Asimismo, indican cuales son los convencionalismos que se utilizan en el método, mediante la siguiente ilustración:

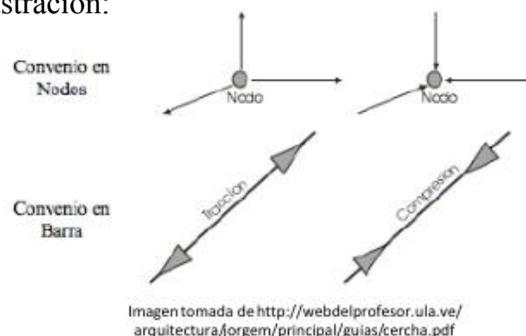


Figura 64. Convencionalismos utilizados en el método de nudos

Como fruto de su investigación proveen información del método de secciones, que es otra de aplicación de las condiciones de equilibrio en el cálculo de armaduras, la cual generalmente se usa para determinar las cargas sobre algunos elementos en particular o para verificar que los resultados obtenidos a partir del método de nudos sean correctos.

#### Método de las secciones para armaduras planas

Para analizar las armaduras por el método de las secciones lo primero es chequear la estabilidad y la rigidez y proceder a realizar el diagrama de cuerpo libre. Luego se determinan las reacciones en los apoyos para equilibrio externo. Después de esto se secciona la armadura, cortando imaginariamente tres barras desconocidas. Se toma uno de los lados como un sólido rígido, cuyas fuerzas no son concurrentes ni paralelas y las barras seccionadas se toman como cargas externas desconocidas. Entonces se aplican las ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum M_0 = 0$$

Esta aportación de los estudiantes es relevante pues proporcionan una metodología que permite comprobar los resultados obtenidos, sin tener que hacer una revisión exhaustiva de los sistemas de ecuaciones establecidos por el método de nudos. A continuación, los estudiantes presentan un diagrama de cuerpo libre (DCL), indicando las acotaciones generales del modelo ( $R_{2,4}$ ), no señalan escala y aparece un tanto descuadrado, aparentemente elaborado en el programa Word, el cual no es propio para este tipo de trabajo (ver figura 65).

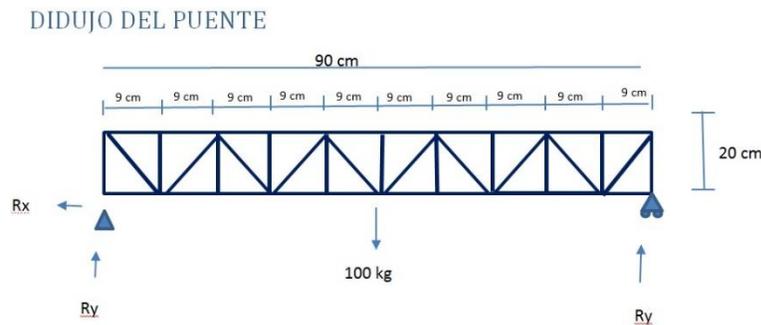


Figura 65. Diagrama de cuerpo libre indicando las cotas principales de su diseño

Del diagrama se puede apreciar que al igual que equipo 1, esos estudiantes consideraron para su análisis una carga de 100 unidades, pero indicando que dichas unidades son kilogramos. Esto probablemente es consecuencia de la indicación que se les dio para el uso de la aplicación computacional sugerida en el REI, para el cálculo de las cargas en los miembros que componen la estructura, con la finalidad de que resultados se pudieran interpretar como un porcentaje de la carga puntual de prueba aplicada, situación de la cual los estudiantes no alcanzan a percatarse, limitando su diseño para una carga de la magnitud descrita. Un aspecto importante que surge del análisis de este esquema, es que indican una reacción horizontal  $R_x$ , la cual no se presenta para el caso que nos ocupa, ya que la carga es vertical, por tanto las reacciones en los apoyos, serían en la misma dirección pero en sentido contrario, lo que podría indicar que no hay una buena comprensión de las condiciones de equilibrio supuestas por el método de nudos, pues del DCL, se deduce que esa reacción horizontal, en caso de existir, generaría desequilibrio en el mismo.

Como apartado subsecuente, titulado “Análisis”, los estudiantes presentan los resultados obtenidos de la aplicación del método de nudos a la armadura que propusieron como solución a la problemática planteada, la cual esta esquematizada en la Figura 65, con la observación de que en este punto las fuerzas que actúan sobre los elementos están numeradas, en relación con el orden que le dieron a los nudos, lo que no se plasmó en el dibujo proporcionado de la misma, mediante recuadros insertados de cada uno de 22 nudos analizados y que son la totalidad de los que componen su modelo, como se ejemplifica en las Figuras 66.

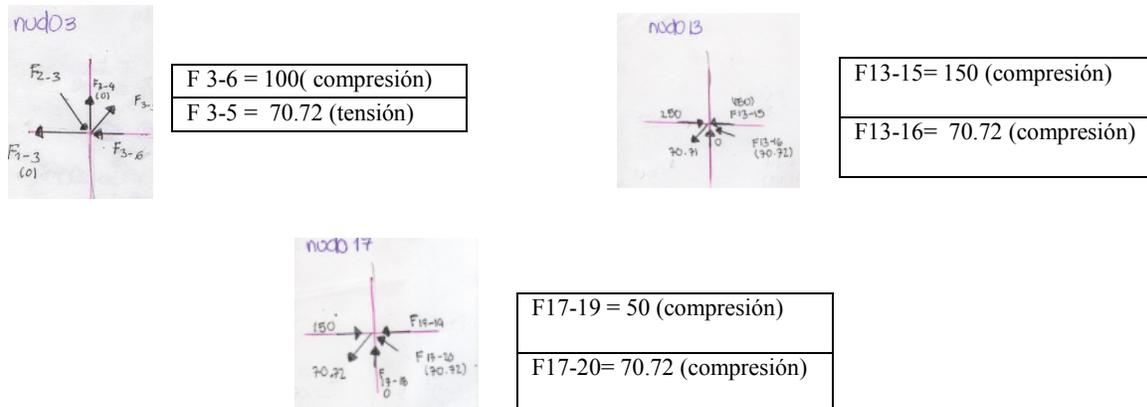


Figura 66. Resultados obtenidos del análisis realizado por el método de nudos para la armadura propuesta

De los ejemplos representativos de nudos plasmados en la figura 20, cuya numeración es proporcionada en los anexos de su reporte, se aprecia que los estudiantes colocan como resultado las magnitudes de las fuerzas, indicando si estas son de Tensión o Compresión, las cuales son congruentes con los esquemas presentados, respetando los convencionalismos que ellos mismos presentaron en su reporte, tal como lo haría un ingeniero. Un detalle que se señala, es que en la indicación de las magnitudes, omiten significar las unidades de medida, que por el diagrama de cuerpo libre, se puede deducir son kilogramos.

Al igual que el equipo 1, estos estudiantes reflejan falta de comprensión en cuanto al comportamiento simétrico de la estructura, toda vez que cuenta con dicha característica en torno a un eje central vertical, con el cual coincide la aplicación de la carga de prueba, que se distribuye siguiendo el mismo orden, por lo que no hay necesidad de calcular las cargas para todos los miembros de la misma, sino sólo para la mitad de ellos, como se explicó en el análisis realizado para el equipo 1.

Como también lo hicieron los equipos 1 y 2, estos estudiantes realizan su diseño ( $R_{2,4}$ ), en torno a la carga que propusieron, de 100 kg no haciendo el uso óptimo de los materiales que tienen a disposición para alcanzar una carga máxima, es decir, al igual que los equipos anteriores, limitan su diseño. En el apartado titulado “Conclusión”, hacen mención de la realización de varios cálculos, refiriéndose probablemente a los realizados mediante el método de nudos, como se aprecia en los anexos, pero esto no implica que se hayan realizado cálculos con la finalidad de alcanzar una carga mayor a la propuesta. También se puede deducir, que no utilizan la aplicación computacional sugerida, lo que les hubiera permitido hacer ajustes a su armadura, en pro de una mayor eficiencia.

Agreden en su reporte, un apartado con el nombre de “Anexos”, que esencialmente son fotografías de los cálculos completos realizados para la determinación de los resultados presentados en el apartado previo, en donde se aprecia un croquis bidimensional elaborado a mano alzada, en el que se indica las distribución geométrica de los elementos que conforman la armadura, significados por líneas, los nudos, los cuales están indicados con puntos remarcados, las dimensiones principales, la carga aplicada (100 Kg.) así como la consideración de los tipos de soporte de la armadura. Asimismo, se aprecia la verificación de estabilidad de la estructura, mediante el criterio señalado, determinándola su diseño como isostático. En un siguiente paso, realizan un croquis a mano alzada, con trazos menos remarcados, en el que numeran los nudos que componen la estructura, y plasman la dirección en que supusieron inicialmente las fuerzas que actúan en cada elemento para empezar el análisis. Posteriormente se aprecia el desarrollo de los cálculos matemáticos, consistentes en la resolución de sistemas de ecuaciones con dos incógnitas, para 21 de los 22 nudos, en donde se puede apreciar que obviaron el resultado de la reacción en el apoyo en el nudo 22, por simetría, condición que no se aplicó para el resto de los elementos. Para ilustrar lo anterior se presentan las figuras 67, 68, 69 y 70.

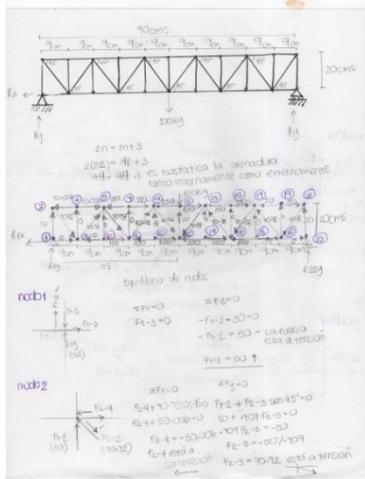


Figura 67. Cálculos realizados con el método de nudos, con croquis indicativos. Parte 1

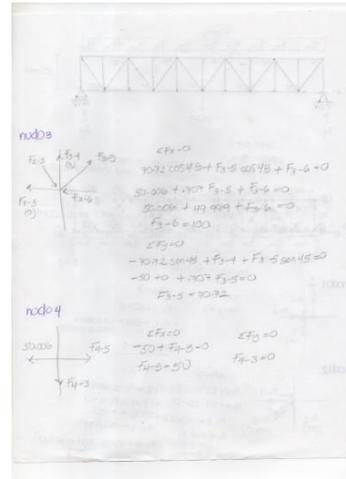


Figura 68. Cálculos realizados con el método de nudos, con croquis indicativos. Parte 2

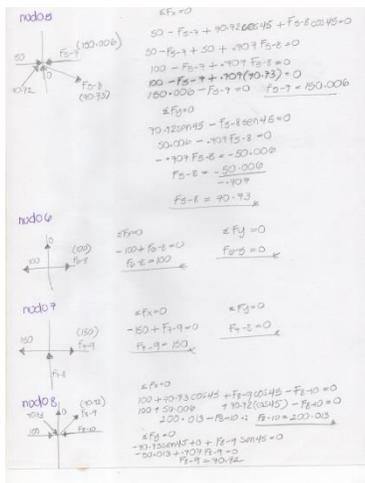


Figura 69. Cálculos realizados con el método de nudos, con croquis indicativos. Parte 3

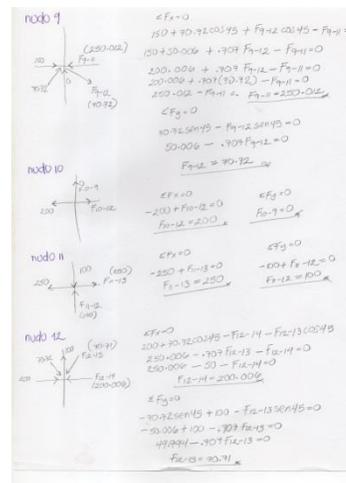


Figura 70. Cálculos realizados con el método de nudos, con croquis indicativos. Parte 4

#### 4.3.3.1 Obras consultadas por los estudiantes del equipo 3

Las referencias explicitadas por el Equipo 3, en esta fase 2 del REI, son las siguientes:

Como primera referencia, aparece “ARQUYS”, disponible en <http://www.arqhys.com/contenidos/armaduras.html>, en la que se pueden encontrar diversos artículos relacionados con las estructuras, y en general con la construcción.

La siguiente es llamada por los estudiantes, “El constructor civil”, en ésta se puede encontrar información diversa de temas estructurales. Esta fuente también fue consultada por los equipos 1 y 2, específicamente el artículo Armaduras-Construcción de edificios, que como su nombre lo indica, presenta datos de las armaduras con un enfoque hacia su uso en edificios y no como parte fundamental de los puentes, pero que finalmente proporciona los conceptos principales, aunque utilizando terminología diversa. Se encuentra en <http://www.elconstructorcivil.com/2013/08/armaduras-construccion-de-edificios.html>

Otra fuente señalada por este equipo es el artículo “Armatura de Construcción”, publicado dentro de una página web cuya finalidad es divulgar un directorio de bienes raíces, por lo que se considera una fuente no muy confiable para los fines que se persiguen en el REI. Esta información también fue señalada como consulta por el equipo 2, en cuyo análisis se indicó que pudo haber influido en la desinformación que ese equipo evidenció en su reporte. Disponible en: <http://www.nosmudamos.net/Construccion/armadura-de-construccion.html>

La última referencia es “Construmática” que es un portal buscador para la comunidad de Arquitectura, Ingeniería y Construcción, que cuenta con una pestaña denominada Construpedia, en la cual mediante palabras clave, se pueden localizar artículos relacionados a las áreas antes mencionadas. Disponible en: <http://www.construmatica.com/construpedia/Armaduras>

Una fuente que no es referida por los estudiantes es la titulada “Club de ensayos” en la cual encontraron un artículo o ensayo, que les proporcionó la información que consideraron pertinente para elaborar su reporte, que se puede consultar en el enlace electrónico: <https://www.clubensayos.com/Ciencia/Armaduras/2270825.html>

Finalmente elaboraron el video solicitado, en el que establecen el objetivo del proyecto, describiendo la finalidad de la estructura a diseñar, los tipos de puentes, indicando su selección (puente tipo viga) abundando en sus orígenes, materiales que se utilizan para su construcción en la realidad, consideraciones estructurales, resaltando que está en función del tipo de carga a soportar. Posteriormente describen la conformación de su diseño, el cual es a base de armaduras, proporcionando una definición de éstas, describiendo los materiales que se pueden utilizar en su fabricación así como sus usos, haciendo énfasis en el uso que se le dará, soportar una carga puntual. Al final describen el método utilizado “Método de nudos”, expresando los pasos generales para su aplicación iniciando con la consideración de establecer los **Figura 31.- Cálculos realizados con el método de nudos, con croquis** y los **Figura 32.- Cálculos realizados con el método de nudos, con croquis** enseguida se puede consultar en: <https://www.dropbox.com/l/nLWm9ZBuXkWR7cQsAgslNq>

#### 4.4 Análisis de la tercera etapa de la implementación de la secuencia didáctica

El objetivo de la tercera y última etapa es que los estudiantes construyan el modelo diseñado, a partir de los croquis y planos que al efecto presentaron como resultado de la etapa 2. Se espera que en esta etapa los estudiantes respondan a la cuestión inicial con el tipo de puente elegido:

C<sub>3,1</sub> ¿Cómo construir el puente elegido con palitos de madera tipo abate lenguas?

Al igual que para el análisis de la primera y segunda etapa, en la tercera y última fase, consideramos el reporte entregado por cada uno de los equipos:

##### 4.4.1 Análisis del reporte entregado por el Equipo 1

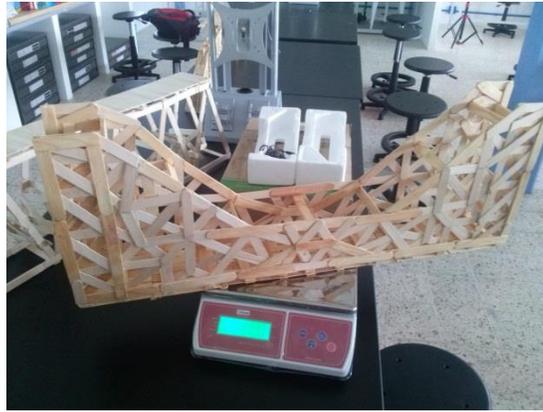
El equipo de estudiantes 1, prescinde presentar por completo el reporte solicitado en el escrito de aplicación de esta última etapa, concretándose a la construcción del modelo de puente que diseñaron en la segunda etapa, como se puede apreciar en la siguiente imagen:



Figura 71. Fotografía del equipo 1, presentando su modelo de puente

De la Figura 34, se aprecia el modelo de puente tipo Arco, propuesto por los estudiantes del equipo 1, cuya capacidad para soportar la carga puntual de prueba, no fue debidamente especificada como se analizó en el apartado correspondiente a la etapa 2, por haber asignado una carga de 100 unidades de medida, las cuales no fueron determinadas o señaladas en el reporte, por lo que se presume que los estudiantes las procesaron como kilogramos.

Es importante señalar que el puente construido por los estudiantes de este equipo, cumplió con las especificaciones requeridas, en cuanto a longitud (90 cm), altura (35 cm), ancho (12 cm), presentando la superficie de rodamiento horizontal en la parte superior de la estructura. Ésta fue elaborada a partir de dos armaduras unidas por vigas transversales, que como se puede apreciar, están constituidas por elementos que conforman como figura básica el triángulo, respetando el límite de peso del modelo de 1,150 grs, ya que el modelo presentado tuvo un peso de 1,108 grs (ver figura 72).



*Figura 72. Proceso de pesado del modelo presentado por el equipo 1*

Dada la distribución geométrica propuesta por los estudiantes, se aprecia que la distribución de la carga de prueba, se hará de forma simétrica hacia los soportes, logrando un trabajo eficiente de los elementos que conforman la estructura, dependiendo del cuidado que hayan guardado en el proceso de construcción. Por cuanto hace a la forma de unir los miembros en los nodos, así como para la conformación de secciones transversales más fuertes, a partir del ensamble de dos o más elementos de madera tipo abate lenguas, el cuidado de los traslapes, así como el correcto ensamblado de las dos armaduras mediante los elementos transversales, que peritan que ambas trabajen en forma paralela.

#### 4.4.2 Análisis del reporte entregado por el Equipo 2

El equipo 2, presenta en la introducción de este último reporte, una decisión que toman a partir de aspectos prácticos, significando que decidieron hacer un puente por piezas, con la finalidad de lograr una mayor rigidez, las cuales fueron elaboradas a partir de los diagramas que presentaron como resultado de la etapa 2 como se aprecia de las siguientes líneas:

Ya contamos con nuestro diagrama de nuestro puente de ahí se procedió a analizar cómo se diseñarían cada una de las partes que diseñaría nuestro puente ya que decidimos hacer un puente por piezas para hacerlo lo más rígido posible. (Equipo 2, Tercer reporte, p.1)

De donde se aprecia que el concepto de rigidez, sigue siendo importante para los estudiantes, es decir, a pesar de que su propuesta consiste en un puente tipo Arco, que como ya se ha estudiado, transmite las cargas a lo largo de la conformación de éste, los estudiantes siguen percibiendo que la resistencia de la estructura fabricada están en función de la rigidez de la estructura. Es decir, como si se tratara de marcos rígidos, los cuales son utilizados en edificaciones con finalidades diferentes, como son los grandes supermercados, bodegas, edificios multiniveles, como se ejemplifica en las figuras 73, 74 y 75 que se presentan a continuación:

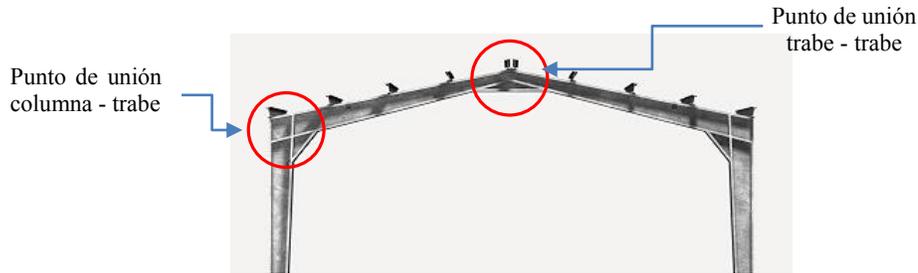


Figura 73. Marco rígido o tipo pórtico



Figura 74. Uso típico de los marcos rígidos o pórticos en naves industriales



Figura 75. Uso típico de los marcos rígidos en edificaciones multiniveles

A diferencia de las armaduras, los marcos rígidos son estructuras que se diseñan para el soporte de cargas a partir de elementos que cuentan con una inercia a la flexión considerable, toda vez que deben resistir y transmitir, además de las cargas axiales, otras tales como las de cortante (las cuales se aplican en forma perpendicular al eje axial del elemento) así como los momentos de flexión que se generan, como se indica en el Diagrama de Cuerpo Libre de la Figura 39. Esto, ya que los puntos de unión entre elementos, ya sea trabe – trabe, columna - trabe, o donde concurran más de dos elementos de este tipo, son rígidos, como se aprecia en la Figura 36, no permitiendo el desplazamiento angular de la pieza, creando un esfuerzo de flexión que debe ser soportado por ésta, y transmitido en forma proporcional a aquellas con las que se encuentre unida. Los métodos que se utilizan para el cálculo de este tipo de estructuras difieren del sugerido para la solución de armaduras, toda vez que el comportamiento estructural es muy diferente, situación que los estudiantes no alcanzan a comprender, ya que atribuyen la resistencia de su puente a la rigidez del marco que construirán y no a la distribución de las cargas de forma axial, tal y como lo hicieron los estudiantes del equipo 1. (ver Figura 76)

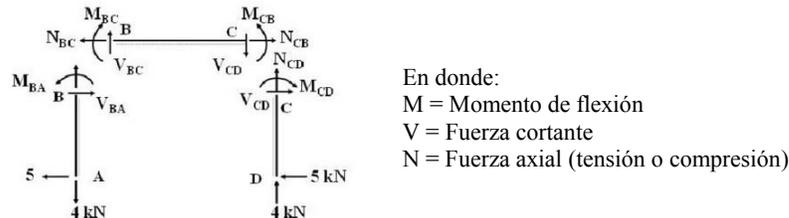


Figura 76.- Diagrama de Cuerpo Libre de los miembros de un marco rígido

A continuación, los estudiantes presentan una serie de fotografías en las que muestran los diferentes procesos y etapas de la construcción de su modelo, figuras 77, 78, 79, 80, 81 y 82.



*Figura 77. Realización de cortes de elementos de madera tipo abate lenguas*



*Figura 78. Realización de cortes con ángulo de inclinación para lograr un buen ensamblaje entre las piezas*



*Figura 79. Pegado y conformación de piezas*



*Figura 80. Proceso para el aseguramiento de la adherencia entre elementos de madera*



*Figura 81. Uso de herramientas especiales (tornillo de banco) para la unión de secciones*



*Figura 82. Estructura de soporte del modelo de puente terminada*

De las Figuras 77 a la 82, presentadas por los estudiantes en el reporte correspondiente a esta etapa se observa que, como futuros ingenieros, están plenamente conscientes de la importancia de que los procesos y procedimientos de construcción del modelo, se realicen con calidad, aplicando el uso de herramientas especializadas. Esto permite lograr cortes apropiados que a su vez permitan el ensamble correcto entre los miembros que conforman la estructura, así como el aseguramiento de la adherencia entre los elementos para la conformación de secciones transversales más robustas y de la estructura en sí. Los estudiantes conformaron una estructura central, sumamente rígida, mediante la unión de varias capas de elementos de madera tipo abate lenguas, como se aprecia de la figura 44, la cual trabaja estructuralmente como un marco rígido simplemente soportado, conformado con columnas muy cortas en los extremos, como tacones de apoyo, y vigas de alma perforada en la parte superior para cubrir el claro (ver Figura 83).



Figura 83. Marco rígido conformado con vigas de alma perforada

Las vigas de alma perforada son elementos que se han desarrollado aprovechando la característica de que al estar sujetas principalmente a flexión, son las fibras extremas de la viga las que trabajan a tensión o a compresión, mientras que las fibras más cercanas al eje neutro experimentan magnitudes de los esfuerzos mencionados muy pequeñas, como se deduce del diagrama de esfuerzos presentado en la Figura 47.

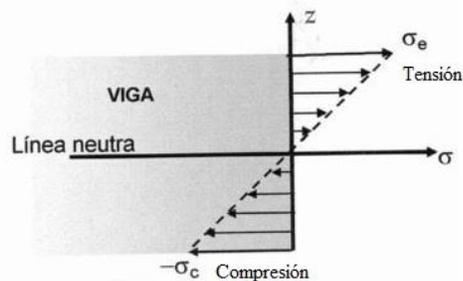


Figura 84. Diagrama de esfuerzos en una viga sujeta flexión

De la Figura 81, se percibe que, los estudiantes no alcanzan a comprender el funcionamiento estructural de una armadura, ya que como se aprecia, la estructura construida tiene las características de un marco rígido, el cual como ya se ha estudiado, soporta y distribuye las cargas de manera diferente a las armaduras. Por lo que el método de nodos o nudos utilizado no se ajusta a su diseño estructural, ya que no se cumple con los supuestos de éste, estudiados en el capítulo anterior. Debe resaltarse, que la solución propuesta por los estudiantes es aplicable para la cuestión estudiada a través del REI, pero los cálculos realizados mediante el método propuesto, quedarían invalidados por las razones expuestas en el párrafo anterior.

En el punto siguiente, titulado “Proceso”, los estudiantes plasman los puntos que consideran más importantes del proceso constructivo seguido:

Tuvimos que sacar un conteo exacto de cuantas piezas y cuantos tipos de piezas necesitaríamos para realizar las secciones que conformarían nuestro puente después de tener la lista. [...] Lijamos cada pieza para que fuera lo más perfecta posible y standard. [...] Procedimos al armado de sección por sección, esperando el tiempo debido de secado, para así poder unir las y terminar nuestro puente. (Equipo 2, Tercer reporte, p.8)

Continuadamente, en su conclusión, expresan las razones por las que consideran que su puente será el más resistente, que en este caso las relacionan con un proceso de fabricación cuidadoso y detallado: “El puente aun no es probado pero estimamos que será el que más resista por su forma de armado, por la forma de ligar sección con sección.” Este equipo dedico aproximadamente 32 horas para la realización de la construcción del modelo, significando que hubiesen requerido un poco más para obtener mejores resultados.

En el reporte en trato omiten las fuentes de referencia y concluyen anexando el video solicitado sobre el proceso de fabricación, en el que se observan los procedimientos relativos al corte de material, trazos, herramientas utilizadas, procesos de interacción en los que se observa el trabajo en equipo, repartiendo las actividades, entre las cuales se incluye la parte de mano de obra directa, de supervisión para que se apegue a lo diseñado y de suministro y selección de materiales a procesar, tal y como lo haría un Ingeniero Civil en el desempeño de su profesión. Por último se presenta el proyecto terminado por los estudiantes de este equipo:



*Figura 85.- Modelo de puente terminado construido por el equipo 2*

De la Figura 85, se aprecia el modelo de puente tipo Arco, propuesto por los estudiantes del equipo 2, cuya capacidad para soportar la carga puntual de prueba, se dedujo de los elementos presentados en el segundo reporte, es de 300 kilogramos. Es importante señalar que el puente construido por los estudiantes de este equipo, también cumplió con las especificaciones requeridas, en cuanto a longitud (90 cm), altura (35 cm), ancho (11 cms, con la objeción de que la superficie de rodamiento horizontal en la parte superior de la estructura, no cubre el claro total como se solicitó e inclusive no se presentan elementos de apoyo para colocarla. Además, no podría funcionar como superficie para el tránsito de personas o vehículos, interrumpiendo la comunicación entre dos puntos, que es la finalidad principal de un puente real. Es decir, al final los estudiantes sacrifican el aspecto funcional

de su estructura, buscando reforzar la estructura inferior, para lograr una carga puntual de prueba de mayor magnitud. Se prevé que dicha decisión obedece a tratar de cumplir con la limitante de peso de la estructura, estipulado en los lineamientos del REI. Al realizar el proceso de pesado de la estructura presentada por este equipo de estudiantes, se constató que está dentro de los límites permitidos, al registrarse una magnitud de 978 grs., esto es, 172 grs debajo del límite estipulado, lo que hubiera dado oportunidad a la colocación de la calzada superior, a fin de dar funcionalidad a la estructura.

#### 4.4.3 Análisis del reporte entregado por el Equipo 3

El equipo 3 plantea la introducción de su reporte, significando las áreas de conocimiento requeridas para poder realizar el diseño de estas estructuras, indicando que éstas son resistencia de materiales y análisis estructural. “Se trata de la aplicación de los conocimientos básicos adquiridos en los cursos como resistencia de materiales y en especial en análisis estructural.” Sin referir a la Estática como área de conocimiento, que es una rama de la mecánica que estudia el equilibrio de los cuerpos y que es básica para el método de nudos sugerido, aunque posteriormente lo hacen presentándolo como un curso en el que revisaron los temas pertinentes. “En el siguiente informe trataremos de predecir, la carga máxima resistida [...] utilizando los conocimientos básicos en nuestro curso de estática [...] con el método de nudos utilizando la tercera ley de Newton.”

Es importante resaltar que este equipo hace mención del uso de los factores de seguridad en los cálculos, tal y como se hace en la Ingeniería Civil. “También tuvimos que realizar un diseño de la armadura considerando el peso a soportar de la estructura y multiplicar por un factor de seguridad.” En un siguiente apartado, proporcionan una definición de puente, la cual se sustenta en su funcionalidad, el área de conocimiento que regula su diseño estructural, que ha sido influido a través del tiempo por los materiales desarrollados, nuevas técnicas y consideraciones económicas, las condiciones de soporte y el tipo de accidente geográfico a salvar.

Un puente es una construcción que permite salvar un accidente geográfico como un río, un cañón, un valle, un camino, una vía férrea o cualquier otro obstáculo físico. [...] Su proyecto y su cálculo pertenecen a la ingeniería estructural [...] influidos por los materiales disponibles, técnicas desarrolladas y las consideraciones económicas, entre otros factores. (Equipo 3, Tercer reporte, p.3)

Un concepto importante que plasman los estudiantes en su reporte es el de eficiencia, el cual es una finalidad de la Ingeniería. “La eficiencia estructural de un puente puede ser considerada como el radio de carga soportada por el peso del puente”. Posteriormente presentan las causas de falla más comunes de las estructuras tipo puente, entre las que mencionan al diseño estructural, por lo que prevé que esta experiencia les ha permitido advertir la importancia del mismo en las estructuras, “[...] fallas más comunes en la construcción de un puente son las siguientes:

- Fallo debido a corrosión
- Fatiga de materiales
- Viento
- Diseño estructural inadecuado
- Terremotos”

Consiguientemente, definen el concepto de compresión, a diferencia de los otros dos equipos, indicando los efectos físicos que sufren los elementos que la soportan, “[...] hay un acortamiento en la dirección de la aplicación de la carga y un ensanchamiento perpendicular a esta dirección, esto debido a que la cantidad de masa del cuerpo no varía”. De lo que se puede presumir que han logrado una mejor comprensión de este concepto y de los efectos que produce en la estructura que están desarrollando, “la forma de la estructura coincide con el camino de las cargas hacia los apoyos, de esta forma las solicitantes actúan de forma perpendicular provocando que las secciones tiendan a acercarse y a apretarse”. De igual forma definen el concepto de Tensión. “Las tensiones en los puntos interiores de un cuerpo son debidas a las fuerzas internas que aparecen para compensar las fuerzas externas y mantener la cohesión del sólidos”. Lo que aporta a los estudiantes una perspectiva más palpable de este concepto, permitiéndoles interpretar de mejor manera los fenómenos que se producen por este efecto.

El apartado siguiente fue el de “Conclusiones” en el que manifiestan los conocimientos aprendidos, relacionándolos con la importancia de los materiales a utilizar y su disposición geométrica dentro de una estructura, para su mejor aprovechamiento físico y mecánico.

[...] aprendimos sobre la importancia de los materiales, la mejor manera de colocar y elegir los mejores abate lenguas ya que muchos de éstos eran frágiles. También se aplicaron conocimientos sobre la tensión y compresión para la colocación del material saber dónde se necesitaría reforzar para resistir las fuerzas que se les aplica.

Analizando lo anterior, se puede decir que los estudiantes han logrado una comprensión más amplia sobre la importancia de la disposición geométrica de los materiales, para lograr mayor eficiencia en su desempeño como parte de la estructura tipo puente. Como punto final de su reporte estos estudiantes presentan dos fotografías en donde se aprecia la estructura terminada, con algunos elementos (pesos) que fueron colocados para lograr una mejor adherencia entre las piezas que la conformaron.



*Figura 86. Proceso para asegurar la adherencia, conformado e integración entre las piezas del modelo. Vista A*



*Figura 87. Proceso para asegurar la adherencia, conformado e integración entre las piezas del modelo. Vista B*

De las figuras 86 y 87, es perceptible que los estudiantes, tienen clara la relevancia de lograr un correcto ensamblaje y adherencia entre las piezas, así como de la ortogonalidad que deben guardar los elementos principales de la estructura, para evitar torsiones indeseables cuando se realice la prueba física del prototipo. A continuación se presenta el modelo o prototipo terminado del equipo 3



*Figura 88. Modelo de puente terminado elaborado por el equipo 3*

Del análisis del modelo presentado por estos estudiantes, se aprecia una estructura conformada por dos armaduras en forma longitudinal, unidas por elementos transversales, dando la figura tridimensional, las cuales están constituidas a partir de figuras triangulares, que como se ha estudiado, son las más estables. El puente de madera cumple con los requerimientos de longitud (90 cm), altura (35 cm), ancho (15 cm), presentando la superficie de rodamiento horizontal en la parte superior de la estructura, y que de la interpretación de los resultados de la etapa 2, se advierte que los estudiantes prospectaron una carga puntual de 100 kilogramos.

Se considera que estos estudiantes tienen una buena comprensión de las armaduras y de su desempeño estructural, toda vez que dispusieron elementos con una relación de esbeltez pequeña, la cual se define como la relación del ancho del elemento a su longitud. Ellos apuestan por la transmisión de cargas de forma axial hacia los soportes, considerando puntos de unión que permitan el desplazamiento angular de las piezas a fin de no transmitir momentos a través de éstas, acorde a los supuestos que considera el método de nudos, mismos que fueron estudiados en el capítulo anterior.

El modelo tiene un peso de 1,087 gramos, peso que se encuentra dentro de los límites exigidos dentro del REI (Ver figura 89).



*Figura 89.- Proceso de pesado del puente elaborado por el equipo 3*

# Capítulo V

## 5 Conclusiones generales

---

El arte de la ingeniería requiere de exponentes con capacidad de innovar día a día, las condiciones en que se desenvuelve el ser humano, promoviendo su bienestar y calidad de vida, en comunión con los recursos naturales que el entorno nos ofrece.

A través de la historia, se ha demostrado que los grandes científicos han desarrollado sus teorías, creando modelos matemáticos a partir de la observación y los han comprobado mediante la comparación o aplicación en los fenómenos reales que tratan de describir.

Tales desarrollos teóricos y tecnológicos, han surgido de aquellos quienes se encuentran inmersos en la problemática, experimentan con ella y comparan los resultados obtenidos, proponiendo mejoras en cada paso, logrando un conocimiento propio, que mediante la reflexión, le permite identificar y modificar las condiciones, hasta alcanzar la solución óptima.

Eficiencia es una palabra que describe al buen ingeniero pues implica el máximo aprovechamiento de los recursos, para obtener los mejores resultados.

Si buscamos impulsar ingenieros tendientes a la creación de soluciones de vanguardia, es necesario situarlos en los contextos adecuados, que favorezcan la investigación, uso y aplicación de las técnicas y tecnologías ya conocidas, comparando resultados obtenidos con esperados, realicen ajustes y modificaciones. Es ahí donde la Modelación Matemática se convierte en un factor determinante, pues se torna en el elemento que permite al futuro ingeniero evaluar su trabajo, hacer tangible la teoría, identificar que la solución que persigue es asequible, dándole elementos para reflexionar y realizar nuevas conjeturas, hasta tomar una decisión final de forma fundamentada.

En el campo de la Ingeniería Civil, se identificó la “Construcción de Puentes a base de palitos de madera tipo abate lenguas”, como una actividad de modelación matemática con un amplio potencial didáctico, ya que sitúa al estudiante en la necesidad de resolver una problemática planteada, cuyas condiciones y requerimientos son estipulados desde un inicio. Es este esquema, el estudiante debe analizar y reflexionar sobre el escenario propuesto o pre existente, a fin de proponer la solución más eficiente, que en este caso se define por la relación entre la carga puntual soportada y el peso de la estructura diseñada, tomando en cuenta las limitantes de espacio, peso total de la estructura, así como las propiedades físicas y mecánicas del material a utilizar, es decir, de los palitos de madera.

Dicha actividad se presentó como un Recorrido de Estudio e Investigación (REI) que se estudió desde el enfoque de la Teoría Antropológica de lo Didáctico (TAD), para determinar sus aportaciones a la formación de futuros ingenieros, dando luz a la actividad matemática que se genera en términos de las nociones de institución y praxeología.

De la noción de institución, se pudo identificar que las asignaturas de matemáticas, física, estática y diseño estructural, son las que los estudiantes logran identificar como las que proporcionan los saberes requeridos para la resolución de esta actividad.

El Recorrido de Estudio e Investigación, Construcción de Puentes a base de palitos de madera tipo abate lenguas”, se presentó el capítulo 3 de esta tesis, en el que se sugiere su desarrollo en tres etapas, en términos de praxeologías, realizando un análisis de las tareas propuestas, en la cual se presenta como elemento tecnológico el método de nudos para resolución de armaduras, el cual los estudiantes deberían de adaptar para el análisis de las estructuras propuestas.

Las etapas propuestas deberían favorecer el reconocimiento de los diferentes tipos de estructuras utilizadas como puentes, su selección partiendo de las condiciones iniciales o preestablecidas, su diseño estructural mediante el método sugerido, con la comprensión de los supuestos que la aplicación del mismo implica, el desempeño estructural de los elementos que integran la estructura, así como las actividades prácticas, así como la técnica adecuada para realizar para la construcción del prototipo.

Del estudio de los resultados obtenidos de la aplicación de este Recorrido de Estudio e Investigación (REI), se pudo identificar que, dado que las etapas marcaban actividades sugeridas a realizarse fuera del aula de forma independiente por los estudiantes, indicándoles fuentes bibliográficas y enlaces electrónicos para consulta, algunos de ellos las siguieron de forma parcial, mientras que algunos otros, no mostraron indicios de haberlas examinado, integrando REI's diferentes al sugerido, investigando por sus propios medios, tomando como referencia los puntos solicitados para el reporte que fue solicitado al final de cada etapa, Incluso, en uno de los casos, los estudiantes omitieron la presentación del reporte de la tercera etapa, concretándose a la elaboración o construcción del modelo de puente que diseñaron.

El propósito general de la actividad, como ya se describió al inicio de estas conclusiones, es el diseño de una estructura tipo puente, que soporte la mayor carga puntual posible aplicada al centro del claro, considerando las limitantes de espacio, peso de la estructura y propiedades físicas y mecánicas del material a utilizar para la fabricación (palitos de madera), es decir, la utilización óptima del material dispuesto para tal fin; sin embargo de la examinación de los resultados se observa que los estudiantes dieron a su actividad un sentido diferente, ya que partiendo de una carga propuesta por ellos mismos, realizaron el diseño de su estructura, reforzando con el material “sobrante” los miembros que consideraron lo necesitaban, en función de los resultados obtenidos de la aplicación del método de nudos, o bien, por apreciación personal.

En relación al parágrafo anterior, es importante que significar que los estudiantes siguieron una lógica muy similar a la que se sigue en la actividad real de un Ingeniero Civil en el área de diseño de estructuras. Esto es, para el diseño de una estructura tipo puente, una vez que se han analizado las condiciones generales de espacio y soporte, para definir su configuración, debe hacerse un análisis de cargas, para el posterior diseño de los miembros que conforman dicha estructura. Esta es una diferencia que se presenta entre el ambiente didáctico en que se da esta actividad y la práctica real de la Ingeniería.

En cuanto al elemento tecnológico sugerido, método de nudos, se observó que en general fue bien aplicado, denotándose falta de comprensión en cuanto a los requerimientos y

supuestos que considera el mismo para su aplicación, además de aspectos matemáticos como la simetría que guardan las estructuras propuestas y que en condiciones ideales, distribuyen las cargas de la misma manera. Un caso extremo se presentó con uno de los equipos de estudiantes, los cuales incurrieron en un total desfase del diseño estructural realizado a la materialización del mismo, pues físicamente desarrollaron un modelo que no correspondía a una armadura, sino a un marco rígido, el cual tiene un comportamiento estructural diverso a la armadura, y que por tanto, no puede ser analizado por el método propuesto. Es importante señalar para este caso, que a pesar que el funcionamiento estructural del prototipo es incomparable, desde un punto de vista pragmático, cumplió con la resolución del problema planteado, sin embargo, la carga que dicho modelo soportaría al ser probado físicamente, seguramente difiere notablemente de la que supusieron los estudiantes.

Es importante resaltar que para el diseño de las secciones transversales de los miembros de las estructuras propuestas, no surgió ningún elemento tecnológico, no obstante que en uno de los casos, los estudiantes presentaron las características mecánicas de la madera, éstas no fueron utilizadas para la optimización de dichas secciones, lo que hubiese dado mucha mayor eficiencia a su diseño. Esto probablemente debido a la falta de tiempo o indicación específica en este sentido.

Este recorrido de Estudio e Investigación, “Construcción de Puentes a base de palitos de madera tipo abate lenguas”, fue implementado con futuros ingenieros civiles de cuarto, sexto y octavo semestre. Los estudiantes de cuarto semestre, mostraron falta de habilidades al no haber podido desarrollar el modelo con fundamento analítico, presentándolo sólo de forma física acompañado de reportes inconclusos, a pesar de ya haber cursado la materia de estática, aunque estaba pendiente la asignatura de análisis estructural. En cuanto a los estudiantes de sexto y octavo semestre, presentaron indicios de mayor capacidad de análisis para el desarrollo del proyecto en cuestión, habiendo cursado las asignaturas previamente referidas. Los proyectos seleccionados para este análisis corresponden a estudiantes de sexto y octavo semestre.

Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden establecer un precedente para dar luz a la relación entre las asignaturas de estática, curso básico en la formación de ingenieros y análisis estructural, curso avanzado. Este recorrido de Estudio e Investigación puede ser utilizado entonces, para el desarrollo de nociones tales como eficiencia y simetría, y desde el enfoque analítico, así como para una mejor comprensión de las diferencias entre los tipos de estructuras, métodos de análisis y diseño.

Otras asignaturas que pudieran hacer uso de este REI, son las relativas a la administración en Ingeniería, en áreas como análisis de costos, programas de obra, manejo de insumos (material, mano de obra, herramienta y equipos), entre otros.

## 6 Referencias Bibliográficas

---

- 618rinox. (2011, mayo 5). *Este Puente Aguanta 106kg Y Solo Esta Hecho De Palitos De Madera* [Video podcast]. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=DtA5bR0bq\\_s](https://www.youtube.com/watch?v=DtA5bR0bq_s)
- Armaduras. (s.f.). ARQHYS Arquitectura. Recuperado de <http://www.arqhys.com/contenidos/armaduras.html>
- Barrios, A. (2013, abril 16). *Puente De Palitos De Madera* [Video podcast]. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=dUE\\_\\_k52R-U](https://www.youtube.com/watch?v=dUE__k52R-U)
- Cómo construir un puente a escala usando palillos. (s.f.). En wikiHow. Recuperado de <http://es.wikihow.com/construir-un-puente-a-escala-usando-palillos>
- Cómo construir un puente de palitos de helado que soporte 50 libras (22 kg). (s.f.). En wikiHow. Recuperado de [http://www.ehowenespanol.com/construir-puente-palitos-helado-soporte-50-libras-22-kg-como\\_275298/](http://www.ehowenespanol.com/construir-puente-palitos-helado-soporte-50-libras-22-kg-como_275298/)
- Enfoque Noticias. (2015, abril 07). *Convoca UAEM a concurso de puentes de palitos de madera*. Recuperado de <http://www.enfoquenoticias.com.mx/noticias/estado-de-mexico/convoca-uaem-a-concurso-de-puentes-de-palitos-de-madera>
- Estática Armaduras. (s.f.). Scrib. Recuperado de <http://es.scribd.com/doc/126314519/Estatica-Armaduras#scribd>
- XIX Concurso De Puentes De Palitos De Madera Itmatamoros está en Facebook. (s.f.). En Facebook [página de Institución]. Recuperado en octubre 22, 2015 de <https://www.facebook.com/ConcursodePuentesdePalitosITM>
- HaCkIsS2. (2011, Agosto 5). *X Concurso BBK de Maquetas de puentes de Ingenieros Bilbao* [Video podcast]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=YojdMOAzUws>
- Herrera, N. M. (2013, noviembre 30). *Construcción Puente Y Pruebas Resistencia* [Video podcast]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=MCpenHt3aqw>
- Historia de los puentes. (s.f.). En Wikipedia. Recuperado en noviembre 27, 2015, desde [https://es.wikipedia.org/wiki/Historia\\_de\\_los\\_puentes](https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_los_puentes)
- Jaramillo, J. O. (s.f.). Tema Adicional Capítulo 6. Página web de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia. Recuperado desde <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%2006/EJERCICIOS.htm>
- Luna, J. M. (2011, abril 18). *Concurso Puentes De Madera Unam 2010 Arcos Rampantes* [Video podcast]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=WMzpg2mbfdw>

- Milner, W. (s.f.). Cómo construir un puente de palitos de helado que soporte 50 libras (22 kg) [Traduc. P. I. Amenábar]. *eHow en Español*. Recuperado de [http://www.ehowenespanol.com/construir-puente-palitos-helado-soporte-50-libras-22-kg-como\\_275298/](http://www.ehowenespanol.com/construir-puente-palitos-helado-soporte-50-libras-22-kg-como_275298/)
- Ocadiz, C. (2015, agosto 13). Concurso de Puentes de Palitos de Madera: UPT. *El Sol de Tulancingo*. Recuperado de <http://www.oem.com.mx/elsoldetulancingo/notas/n3913295.htm>
- Partida, A. (2011, mayo 4). *XI Concurso Interuniversitario De Puentes De Madera (15 Toneladas!!!)* [Video podcast]. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=\\_Q6DvRb6tjI](https://www.youtube.com/watch?v=_Q6DvRb6tjI)
- PHDPortal. (s.f.). PhD Mathematical Models and Methods in Engineering. Recuperado de <http://www.phdportal.eu/studies/26534/mathematical-models-and-methods-in-engineering.html>
- Premium2999. (2013, noviembre 30). *Construcción puente con palitos de paleta* [Video podcast]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=MCpenHt3aqw>
- premium2999. (2009, diciembre 9). *Concurso de puentes de madera UAQ "puente ganador" 2009* [Video podcast]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=NhCY88UZREY>
- Professional Engineers and Geoscientist of BC. (2015). *2015 popsicle stick bridge building competition. Rule Book*. . Recuperado de <https://www.apeg.bc.ca/getmedia/37223d5c-ada5-4626-83cf-a2aa4a0c5207/northernbranch-rulebook2015.pdf.aspx>
- Professional Engineers Geoscientists of Newfoundland and Labrador's National Engineering Month (s.f.). *How To Build A Model Bridge*. Recuperado de <http://www.modelbridgesnl.ca/pdfs/how%20to%20bridge.pdf>
- Puente. (s.f.). En Wikipedia. Recuperado en noviembre 27, 2015, desde <https://es.wikipedia.org/wiki/Puente>
- Puentes de palitos de madera súper resistentes y fósiles fascinaron al público en el stand de la Facultad de Ingeniería de la UACH. (2013, abril 30). *Comunidad 7 Revista Digital de Actualidad Sociocultural*. Recuperado de <http://comunidad7.com/not/3420/puentes-de-palitos-de-madera-super-resistentes-y-fosiles-fascinaron-al-publico-en-el-stand-de-la-facultad-de-ingenieria-de-la-uach->
- Puentes contruidos con palillos de helado que aguantan casi mil kilos. (2013, abril 19). *Sinc La Ciencia es Noticia*. Recuperado de <http://www.agenciasinc.es/Multimedia/Videos/Puentes-contruidos-con-palillos-de-helado-que-aguantan-casi-mil-kilos>
- Romero, A. (2010). 9no. Concurso Facultad de Ingeniería UNAM [Video podcast]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=08Vb7w-4Hn0>

- Romero, A. (2010, julio 12). *Puente que soporto 2350kg Facultad de Ingenieria UNAM* [Video podcast]. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=jO\\_OJJIY04](https://www.youtube.com/watch?v=jO_OJJIY04)
- Schnell, J. (2008, septiembre). Guidelines for Building a Model Bridge. Página Web de la Northwest Territories and Nunavut <http://www.napeg.nt.ca/News%20and%20Professional%20Development%20Calendar/2015%20Bridge%20Building%20Guidelines.pdf>
- Seccion Estudiantil. (2009, junio 5). *Puente de palitos de madera OlimpiAneic* [Video podcast]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=T27btAohEKk>
- Technical University of Denmark. (s.f.). Mathematical modelling and computation program. Recuperado de [http://www.dtu.dk/english/Education/msc/Programmes/mathematical\\_modelling\\_and\\_computation](http://www.dtu.dk/english/Education/msc/Programmes/mathematical_modelling_and_computation)
- TryEngineering. (s.f.a). *Puente de palos de helado*. Recuperado de [http://tryengineering.org/sites/default/files/lessons/popsiclebridge\\_es.pdf](http://tryengineering.org/sites/default/files/lessons/popsiclebridge_es.pdf)
- TryEngineering. (s.f.b). *Popsicle Bridge*. Recuperado de <http://tryengineering.org/lesson-plans/popsicle-bridge>
- TvRed DGIE-BUAP. (2015, marzo 25). *Concurso de Puentes de Palitos 2015* [Video podcast]. Recuperado de [https://www.youtube.com/watch?v=GzaxR\\_RfEcQ](https://www.youtube.com/watch?v=GzaxR_RfEcQ)
- Universidad Autónoma del Estado de México. (2013). *1° Concurso Regional De Puentes De Palitos De Madera*. Recuperado de [http://www.uaemex.mx/Evento/2013/FIngenieria/concurso\\_regional.pdf](http://www.uaemex.mx/Evento/2013/FIngenieria/concurso_regional.pdf)
- Universidad Politécnica de Tulancingo. (2015). *2° Concurso Interno de Puentes de Palitos de Madera en la UPT. Boletín 35*. Recuperado de <http://www.upt.edu.mx/contenido/SalaPrensa/Boletines/08-2015/35%20do%20Concurso%20de%20Puentes%20de%20Palitos%20de%20Madera.pdf>
- Universidad Autónoma de la Ciudad de México. (s.f.). Licenciatura en Modelación Matemática. Recuperada de <http://www.uacm.edu.mx/uacm/es-es/colegios/colegiodecienciaytecnolog%C3%ADa/licenciaturasccty/modelaci%C3%B3nmatem%C3%A1tica.aspx>
- Universidad Tecnológica de la Mixteca. (s.f.). Doctorado en Modelación Matemática. Recuperado de [http://www.utm.mx/dr\\_modelacion\\_matematica.html#objetivos](http://www.utm.mx/dr_modelacion_matematica.html#objetivos)
- University College of London – London’s Global University. (s.f.). MSc Mathematical Modelling. Recuperado de <https://www.ucl.ac.uk/math/prospective-students/msc-modelling>
- University of Ontario. (s.f.). PhD Modelling and computational Science. Recuperado de [http://www.gradstudies.uoit.ca/future\\_students/doctoral\\_programs/modelling\\_and\\_computationalscience/](http://www.gradstudies.uoit.ca/future_students/doctoral_programs/modelling_and_computationalscience/)

Viola492. (2011, marzo 30). *Puentes con palitos de madera. Prueba de rigidez. 1º edificación UEMC. 30.3.2011* [Video podcast]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=sxYXhFr49o>