

# PREFACIO

He tenido varias ideas antes de iniciar la tesis. Siempre quise reflejar en ella la forma en que yo concibo estas dos profesiones juntas. De hecho la arquitectura y la ingeniería estructural son complementarias. Inicialmente quise trabajar en un edificio, un estadio, pero tal vez estos no dan tanta libertad al arte. Creo que así lo vio mi asesor. Tengo que agradecer el entusiasmo que el Ing. Milton Matus inyectó a esta tesis y el apoyo que me ha brindado. Me gustaría que este estudio pueda, de verdad, ser utilizado en algún momento por las entidades relacionadas. Que no quede cómo una tesis más abandonada en la biblioteca, pues le he puesto mucho corazón y toda la autenticidad de cómo se haría el proyecto real.

Quiero agradecer la colaboración de mi madre Thelma Aroche, a mi esposa Christina Elich quienes además me motivaron para continuar con este importante proyecto. Asimismo al Ing. Hugo Nájera pues su apoyo en el uso del programa S.A.P. fue clave para esta tesis; al Ing. Franklin Matzdorf y a la Universidad del Valle por brindarme la oportunidad.

El diseño original del puente peatonal, a nivel arquitectónico, fue variando de la idea original conforme fue madurando. La primera era algo muy simple, un par de arcos que sostenían algunos anillos y la superficie del muelle, pero aún no contaba con las solicitudes municipales. Luego definí una estructura ya con alturas y para ello tuve que diseñar dos arcos de diferente tipo, uno de medio punto y el otro rebajado, los cuales iban a sostener los anillos y el paso peatonal. Apareció el problema de cómo acceder; desde el principio decidí la rampa, me gusta esa fluidez, además, siempre me ha molestado cómo tantas personas, por sus diferentes limitaciones, sufren para subir todo el graderío de una pasarela, al final por eso no las usan.

Ventajosamente la estructura fue volviéndose más completa, estéticamente hablando, sin embargo la estructura es muy clara, se puede ver cómo “fluyen las fuerzas por ella” y cómo trabaja cada miembro estructural. Una cosa que me gusta de la estructura es que usa tubos, siempre me ha parecido buena idea usarlos, y aquí comprobaremos sus bondades; siguen la misma línea que le sirven tanto al arquitecto cómo al ingeniero, igual a las profesiones que estoy uniendo hoy, igual a la estructura. Honestamente espero que sirva esta tesis de mucho.

**Dibujo 1:** Primeras ideas para la pasarela.

**Dibujo 2:** Primeros bosquejos de la pasarela.

# CONTENIDO

	Página
PREFACIO .....	i
CONTENIDO .....	iii
LISTA DE FOTOGRAFÍAS .....	v
LISTA DE DIBUJOS .....	vi
LISTA DE TABLAS .....	viii
LISTA DE GRÁFICAS .....	ix
LISTA DE PLANOS .....	ix
RESUMEN .....	xi
 <b>Capítulos</b>	
I. TEMA PROBLEMA .....	1
A. Introducción .....	1
B. Justificación .....	4
C. Tema de estudio .....	4
D. Planteamiento del problema .....	6
E. Objetivos .....	8
II. ANÁLISIS .....	9
A. Metodología de la investigación .....	9
B. Marco teórico conceptual .....	9
1. Generalidades de la planificación urbana .....	10
a. Las áreas públicas .....	10
b. Las vías de recorrido .....	12
2. Diseño y estética urbanos .....	13
a. La integración al entorno .....	15
3. La vialidad y la planificación peatonal .....	16
a. Aceras y detalles .....	17
b. Puentes peatonales .....	18
c. Rampas .....	20

4. Generalidades del diseño y análisis estructural .....	21
a. Reseña histórica del diseño de puentes .....	21
b. Puentes sostenidos por cables .....	27
1) Breve introducción .....	27
a) Clasificación y características .....	29
2) Puentes atirantados .....	30
a) Características estructurales .....	33
b) Especificaciones y cargas .....	37
c) Cables, anclajes y conexiones .....	37
3) Análisis de los puentes atirantados .....	44
a) Diseño preliminar de los puentes atirantados ..	48
b) Diseño sísmico de puentes atirantados .....	50
c) Diseño para cargas de viento en puentes atirantados	51
d) Montaje de un puente atirantado.....	56
4) Puentes atirantados autoanclados .....	57
c. Análisis dinámico de los puentes peatonales. ....	57
d. Análisis y diseño estructural de aros .....	64
1) Comportamiento estructural de los aros .....	64
2) Esfuerzos en aros .....	65
e. Análisis de tubos circulares de metal. ....	65
f. Puntal y su cimentación .....	68
III. SÍNTESIS .....	73
A. Presentación del puente peatonal a diseñar .....	73
B. Memoria de cálculo .....	88
1. Puntal y pilastra.....	96
2. Cables .....	100
3. Anillos de soporte transversal .....	101
4. Arco de tubo metálico .....	104
5. Rampas .....	106
6. Pilotes .....	109
C. Planos finales de la pasarela.....	111
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	133
V. BIBLIOGRAFÍA .....	135

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Página
UNO: el puente más antiguo .....	3
DOS: puente peatonal de vanguardia .....	5
TRES Y CUATRO: puente peatonal atirantado .....	7
CINCO, SEIS Y SIETE: pasarela contemporánea en Guatemala.....	20
OCHO: construcción de puente atirantado .....	30
NUEVE: puente Norderelbe .....	31
DIEZ: construcción de puentes por voladizos sucesivos .....	32
ONCE Y DOCE: puente Alamillo .....	33
TRECE Y CATORCE: puentes Talmage y Sunshine Skyway .....	35
QUINCE Y DIECISÉIS: dos aspectos del puente Luling .....	35
DIECISIETE, DIECIOCHO Y DIECINUEVE: puente Sancho El Grande	36
VEINTE Y VEINTIUNO: puente Verrazano-Narrows .....	51
VEINTIDÓS: ubicación de amortiguadores de “masa afinada”.....	62
VEINTITRÉS: amortiguadores viscosos .....	63
VEINTICUATRO: amortiguadores de “masa afinada” .....	63
VEINTICINCO: amortiguadores en el muelle .....	63
VEINTISÉIS: amortiguadores en hacia el terreno.....	63

# LISTA DE DIBUJOS

Dibujo	Página
UNO: primeros bosquejos .....	ii
DOS: primeros bosquejos .....	ii
TRES: sección de pista de un puente atirantado .....	34
CUATRO: análisis de una viga atirantada .....	45
CINCO: momentos en puentes atirantados .....	46
SEIS: líneas de fluencia en un puente atirantado .....	47
SIETE: diagrama de una viga soportada por cables .....	49
OCHO: esfuerzos en las torres .....	49
NUEVE: diagrama del resorte entre cable y viga .....	50
DIEZ: gráfica de la teoría de la pendiente negativa .....	54
ONCE: como afecta un peatón a la estructura de un puente .....	59
DOCE: efecto del bamboleo .....	59
TRECE: efecto torsional en el tubo .....	67
CATORCE: elevación del puente definido .....	75
QUINCE: planta del puente definido .....	77
DIECISÉIS Y DIECISIETE: aspectos del puente final .....	79
DIECIOCHO: perfil del modelo .....	80
DIECINUEVE Y VEINTE: aspectos laterales del puente .....	80
VEINTIUNO: vista aérea del modelo .....	81
VEINTIDÓS: vista aérea del modelo .....	81
VEINTITRÉS: vista lateral del modelo .....	81
VEINTICUATRO: modelo en SAP prueba inicial .....	82
VEINTICINCO: elevación modelo S.A.P . .....	83
VEINTISEIS: vista tridimensional del modelo en SAP.....	84
VEINTISIETE A TREINTA Y CUATRO: circulando por la pasarela .....	86
TREINTA Y CINCO Y TREINTA Y SEIS: vista aérea del techo del muelle .....	87
TREINTA Y SIETE Y TREINTA Y OCHO: vista desde el paso vehicular .....	87
TREINTA Y NUEVE: vista aérea lateral .....	87

CUARENTA: deformada del modo uno .....	89
CUARENTA Y UNO: deformada del modo siete .....	89
CUARENTA Y DOS: deformada del modo quince .....	90
CUARENTA Y TRES: deformada del modo veinti.nueve .....	90
CUARENTA Y CUATRO: esfuerzos S11 en el modo 7 del puntal .....	96
CUARENTA Y CINCO: fuerzas S23 en el modo 9 del puntal .....	97
CUARENTA Y SEIS: fuerza axial en los aros .....	102
CUARENTA Y SIETE: diagramas de cortantes en los aros .....	102
CUARENTA Y OCHO: diagramas de momentos en los aros .....	103
CUARENTA Y NUEVE: diagrama de momentos en arcos .....	104
CINCUESTA: diagrama de cortantes en arcos .....	105
CINCUESTA Y UNO: diagrama de la fuerza torsionante .....	105
CINCUESTA Y DOS: diagrama de cortantes en la rampa .....	106
CINCUESTA Y TRES: fuerzas M22 en la rampa .....	107
CINCUESTA Y CUATRO: momentos en pilote .....	110
CINCUESTA Y CINCO: cortante en pilote .....	110

## LISTA DE TABLAS

TABLA	Página
UNO: Características del cable estructural Bethlehem Steel Corporation .....	39
DOS: rigideces y frecuencias de un puente atirantado .....	58
TRES: características estructurales del tubo INTUPERSA .....	66
CUATRO propiedades mecánicas de la tubería estructural .....	66
CINCO: esfuerzos constantes máximos en secciones .....	67
SEIS: cortante basal modal .....	91
SIETE: cortante basal .....	91
OCHO: participación modal de la masa .....	92
NUEVE: relación total participación de la masa .....	92
DIEZ: participación modal, reacciones .....	93
ONCE: factores de participación modal .....	94
DOCE: períodos y frecuencias modales .....	95
TRECE: desplazamientos máximos del puntal .....	97
CATORCE: desplazamientos máximos en aros .....	103
QUINCE: desplazamientos máximos en arcos .....	105
DIECISÉIS: desplazamientos máximos en la rampa .....	108

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
UNO: movimiento versus fuerza .....	60
DOS Y TRES: registro de la amplificación por sincronización .....	60
CUATRO: cálculo de la muchedumbre que produce el efecto SEL .....	60

## LISTA DE PLANOS

Plano	Página
UNO: planta arquitectónica de la pasarela .....	113
DOS: elevación arquitectónica de la pasarela .....	115
TRES: perfil arquitectónico de la pasarela .....	117
CUATRO: detalles estructurales del puntal .....	119
CINCO: detalles estructurales de la pilastra .....	121
SEIS: detalles estructurales del pilote .....	123
SIETE: detalles constructivos del paso peatonal .....	125
OCHO: detalle del anclaje sugerido entre cables y muelle .....	127
NUEVE: detalle del anclaje entre puntal y cables .....	129
DIEZ: detalles constructivos de la iluminación .....	131



## RESUMEN

En Guatemala se continúa haciendo trabajos urbanísticos sin ninguna consideración arquitectónica. Ninguna de las partes involucradas en la construcción de pasarelas está interesada en colaborar con la imagen paisajística de nuestra ciudad. Hay una norma que intenta solapar esta necesidad y que se resumió en sugerir que las pasarelas deben ser “verde ecológico” para “integrarse al entorno”. Aparte de que esto no se cumple, lo único que provocaría si se cumpliese es atentar contra la estética que se puede lograr con un buen trabajo arquitectónico.

Otro problema detectado es la falta de luminosidad de las pasarelas. Y no digo iluminación, que también hace falta, sino me refiero a que de noche nuestros puentes peatonales son solamente sombras que a duras penas identifican su presencia, aunque en muchos casos esto hace que el paisaje no se rompa grotescamente con esas estructuras tan mal concebidas que es mejor ocultarlas.

Esto sucede por dos razones principales, primero, que la municipalidad no tiene presupuesto para la construcción de pasarelas y por lo tanto, a manera de agradecimiento hacia las donaciones, que tanto iniciativa privada como otros entes gubernamentales hacen construyendo pasarelas, no exige licencia de construcción, con las concebidas problemáticas que denota el presente estudio. El segundo problema es el hecho de que los donadores de pasarelas están más interesados en la publicidad que éstas les representan y dejan de lado todos sus demás aspectos. Lo grave se da cuando los errores estructurales, estéticos y de planificación comienzan a afectar a los usuarios de las pasarelas, y a la ciudad en general. Ahí vemos pasarelas sin usarse ya sea porque su estructura está derruida y están a punto de caerse, porque han sido invadidas por vendedores y delincuentes, están mal ubicadas y resulta más difícil acceder a ellas que cruzar la calle y asumir el riesgo, y lo más grave: que están construidas y diseñadas solo para jóvenes sanos pues los adultos mayores, los minusválidos, mujeres embarazadas e incluso los niños, tienen dificultad para usarlas.

Ventajosamente en la tesis se abordan esos puntos y se propone una solución sencilla que puede ser fácilmente utilizada por los donadores como una solución que entonces si los hará notorios al construir pasarelas verdaderamente bien resueltas.