La estética, la belleza y el diseño. Su aplicación al diseño de los puentes.

Autor: Perez-Fadon Martinez Santiago sp.fadon@ferrovial.es
Director Técnico
Ferrovial-Agromán

RESUMEN

Esta ponencia, se dio por primera vez en el Primer Congreso de Estética e Ingeniería Civil celebrado en la Escuela de Ingenieros de Caminos de la Coruña en septiembre del 2006. Trata sobre la Belleza de las obras de ingeniería.

¿Qué pueden hacer los Ingenieros para proyectar obras más bellas? Se parte del concepto platónico de la Belleza. Aquella capacidad innata del alma humana para apreciar la Belleza Perfecta. Se añade el concepto de Belleza Cultural y se concluye que la única forma que tienen los ingenieros para proyectar obras mas bellas es cultivarse para ser mas cultos.

Se pasa después al Diseño como técnica para proyectar obras más bellas. Se dan unos conceptos generales de Diseño y otros particulares de aplicación que provienen del Análisis de Formas. Finalmente se ponen algunos ejemplos de aplicación de estos últimos al Diseño de puentes.

***Palabras claves*:**

Estética; Diseño; Puentes; Formación de Ingenieros; Análisis de Formas; Repetición de Formas, Estructura de la Repetición; Ritmo de la Repetición.

1. PARTE PRIMERA: LA ESTÉTICA Y LA BELLEZA.

Dos conceptos de Belleza se reparten la discusión. La Belleza Natural o Belleza Perfecta que se traduce en la Belleza Funcional de nuestras obras de Ingeniería; Y la Belleza Cultural que se traduce en la Belleza Ornamental de nuestras obras.

1.1. Real Academia de la Lengua Española

El Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define Estética como (dejando las dos primeras acepciones que se refieren al adjetivo): 3 Artístico, de aspecto bello y elegante // 4 f. Ciencia que trata de la belleza y de la teoría fundamental y filosófica del arte // 5 Conjunto de elementos estilísticos y temáticos que caracterizan a un determinado autor o movimiento artístico. // 6 Armonía y apariencia agradable a la vista que tienen alguien o algo desde el punto de vista de la belleza.

Como se ve la palabra clave, en la mayor parte de las acepciones, es la palabra "Belleza". Veamos pues que dice el Diccionario sobre la misma. Belleza. // 1 Propiedad de las cosas que hacen amarlas, infundiendo en nosotros deleite espiritual. Esta propiedad *existe en la naturaleza* y en las obras literarias y artísticas. // 2 Mujer notable por su hermosura // **belleza artística**: La que se produce de modo cabal y conforme a los principios estéticos por imitación *de la naturaleza* o por intuición *del espíritu*. // **Belleza Ideal**: Principalmente entre los estéticos platónicos, prototipo, modelo o ejemplar de belleza que sirve de norma al artista en sus creaciones.

1.2. Platón o la Belleza Perfecta

Observamos, en la primera acepción de la Real Academia, la relación con el Amor y la cita de la Naturaleza y del Espíritu Humano como fuentes de belleza, todo lo cuál nos recuerda a Platón. En efecto Platón, referencia clásica para este concepto, estableció, en su Diálogo del Banquete y en Fedro, la Belleza como

el objetivo del Amor. El hombre busca la Belleza en un cuerpo bello (En la imagen el Sátiro de Praxíteles), desde aquí se eleva para amar almas hermosas y finalmente acaba amando la Belleza de las Artes y las Ciencias. El concepto de la Belleza es algo inmutable que está en el espíritu del hombre. Así se llega a la Belleza Perfecta canon para todos los artistas según Platón.

Mediante un largo salto histórico-cultural, desde aquí se podría llegar a la idea de Le Corbusier de que la Belleza Perfecta de una obra o estructura es aquella que refleja la Función de la misma y que por tanto es inmutable.

1.3. La Belleza Cultural

Sin embargo este concepto de Belleza en relación con las aspiraciones innatas, diríamos naturales, de nuestra alma anularía toda idea adquirida sobre el concepto de Belleza, lo cual no parece corresponderse con los diferentes patrones de Belleza que se han tenido a través de los siglos. Así pues ¿puede el concepto de Belleza verse influido por la cultura? Y naturalmente la respuesta es que: sí. Konrad Lorenz estableció, en sus estudios del comportamiento, que éste está influenciado mitad por los Genes y mitad por la Cultura. Y la percepción de la Belleza esta también en el comportamiento.

En cada momento de la historia se establecen patrones de Belleza. Movimientos sociales, pictóricos, escultóricos, cinematográficos, etc. establecen normas de Belleza en las que se "educa" a la sociedad de nuestros días.

Por eso la postura funcionalista de la Belleza es demasiado limitada. Se nos queda demasiado corta. Es como si el concepto de Belleza de Rubens en las Tres Gracias no hubiera cambiado a lo largo del tiempo o como si los únicos parques bellos fueran los que se parecen a los bosques naturales; Sin embargo hoy día el canon de belleza femenino es muy diferente al de

Rubens y la estética de nuestros parques puede estar más cerca de los jardines franceses o italianos que de los bosques que nos ofrece la Naturaleza. Igualmente en el diseño estético de las obras y estructuras, estas y aquellas pueden adornarse más allá de la manifestación de la Función. Dependiendo de cada caso, este adorno se puede basar más o menos; o no tener nada que ver con la relación entre la forma y la función.

1.4. La originalidad, la aceleración de la cultura y el filtro del éxito

Queda aún alguna reflexión acerca de la aceleración de los cambios culturales y también de la intensidad de estos cambios. En efecto, en los días que vivimos, la cantidad de propuestas estéticas en las artes es más numerosa que nunca y estas propuestas se producen con una velocidad inusitada. En primer lugar estas propuestas han de ser nuevas es decir originales. Y aquí cabría preguntarse sobre el valor de las soluciones estéticas originales y su génesis. Parece que la originalidad estaría ligada, al menos en algunos casos, a la resolución de algunos aspectos no resueltos con anterioridad o resueltos de otro modo menos elegante hasta ese momento. Parece que la incorporación a la cultura de todas estas propuestas debe sufrir una selección. El proceso de selección de estas nuevas "Bellezas" habrá de basarse en lo que vamos a denominar el filtro del éxito. Este filtro se produce como una mezcla de la selección de las elites (el despotismo ilustrado) y de las masas (filtro democrático). En cualquier caso hay un cierto retraso entre la aparición de estas formas de Belleza nuevas y la aceptación de las mismas por la Cultura establecida. Es como si la aceleración de la Cultura hubiera superado la velocidad de adaptación del alma humana y tuviera ésta que tomarse más tiempo del que aquella tarda en proponer nuevas formas.

1.5. Conclusión

Probablemente el sentido innato de la Belleza no se pueda enseñar en nuestras escuelas como una asignatura

más. Probablemente la única manera de acentuar la sensibilidad a la percepción de la Belleza sea convertir a los Ingenieros en personas cultas que amen las Bellas Artes. Así cobraría sentido las clases que daba nuestro profesor de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid Jose Antonio Fernandez-Ordóñez que nos mostraba diapositivas de Pintura, Arquitectura, Escultura, etc. y nos explicaba sobre dichas diapositivas los conceptos artísticos que las mismas contenían, con la intención de introducirnos en la apreciación del Arte. Cuanto más culto y refinado es un ingeniero mas posibilidades tendremos de que su sentido de la Belleza se desarrolle. Su sentido Innato, y el Cultural también.

2. PARTE SEGUNDA: EL DISEÑO

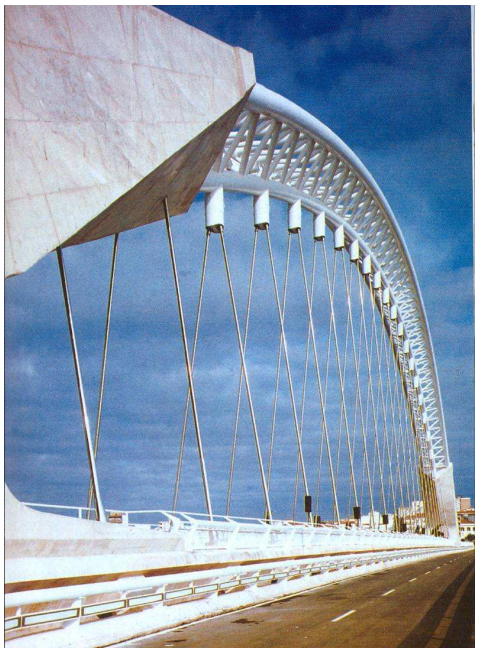
Sin embargo lo que sí se podría enseñar en nuestras Escuelas, es el Análisis de Formas y las herramientas del Diseño como una asignatura que sería de gran utilidad para disponer de una técnica que podría ayudar a proyectar obras más bellas.

2.1. Criterios Generales para El Diseño

Dentro del Diseño se pueden distinguir los conceptos generales que no constituyen reglas propiamente dichas si no reflexiones de carácter general para enmarcar la creación en su entorno o para fijar diferentes niveles de Diseño. Estos principios generales están contemplados de diversa forma en los manuales y libros al uso.

2.1.1. Adaptación al entorno

La integración formal de las obras en el entorno o, por el contrario, la creación de un nuevo entorno con las obras que se proyectan es ya una discusión clásica. En



nuestra opinión la respuesta no es única y depende, entre otras cosas, de la fuerza que tenga el entorno en el que se proyecta la obra. Entornos con una personalidad fuerte, muy marcada, parece que serian los que deberían hacer pensar en la integración; Sin embargo entornos mas comunes con menos fuerza, permitirían una creación formal más libre del contexto. Esta claro que estos conceptos de entorno fuerte o débil, son muy subjetivos y donde unos creen que es mejor mimetizarse con el entorno otros creen que es el lugar adecuado para una creación mas libre del mismo. Hace unos años hubo un concurso para proyectar y construir un nuevo puente sobre el río Guadiana en Mérida. La mayor parte de los concursantes presentamos proyectos muy respetuosos con el entorno Romano de la ciudad, muy cerca, aguas arriba hay uno de los mejores puentes romanos de nuestro país; Sin embargo Santiago Calatrava presentó un arco de tablero inferior, con una gran altura sobre el tablero y sobre la ciudad. Ganó el concurso. Tal vez la Arquitectura esta más cerca de crear formas bellas que crean entorno y en menor medida de adaptarse al entorno. Al fin y al cabo la adaptación de un edificio urbano a su entorno es la adaptación a un entorno creado previamente precisamente por otros edificios. De la Ingeniería hay que decir que es esencialmente transformadora de la Naturaleza. Procura precisamente liberar al hombre de sus inclemencias y dificultades por eso, en el fondo, tampoco es inicialmente respetuosa con el entorno. El ingeniero no se mimetiza con el entorno lo transforma para hacerlo mas confortable, para humanizarlo. Por eso siempre he pensado que es difícil que los Ingenieros seamos al

mismo tiempo transformadores y ecologistas, otra cosa es que diseñemos medidas compensatorias.

2.1.2. Los puntos de vista

Cuando hablamos de características formales de una obra, estamos diciendo implícitamente que hay unos espectadores que reciben esa impresión estética de la obra. Por eso más vista es una estructura, mas juicio estético positivo o negativo recibirá la obra. Mas cabe preguntarse ¿impresión estética de los espectadores desde que punto de vista? En principio se pueden analizar tres situaciones respecto de la obra: Alejado, Próximo y Cercano.

Punto de vista Alejado: Cuando se empieza a percibir una obra desde lejos, lo que se ve son las formas y proporciones generales de la misma. En el caso de un puente, se vería la disposición general de sus elementos: La disposición de las pilas, el número de vanos, la altura respecto del suelo o mejor la proporción entre las luces y su altura, etc. Es decir a esta distancia es el conjunto de la obra y sus magnitudes generales las que van a transmitir la sensación estética.

Punto de vista Próximo: Cuando el punto de vista se aproxima suficientemente, se va a percibir también la forma y proporciones de los diferentes elementos que componen el Puente. Se va a percibir la forma de los estribos, de la pilas, del tablero de los terraplenes de acceso, etc.

Punto de vista Cercano: Cuando se esta muy cerca del Puente

percibiremos además las texturas de los elementos y los detalles del diseño. Muy relacionado con el punto de vista cercano esta la durabilidad, los defectos que va acumulando una obra por el paso del tiempo se perciben, en primer lugar y en mayor medida, en los puntos de vista cercanos. Si se quiere que una obra sea bella a lo largo del tiempo habrá que pensar en su durabilidad y en su mantenimiento.

Así pues al diseñar habrá que pensar en como se percibirá la obra desde los diferentes puntos de vista y cual será el que tendrán los espectadores más a menudo. De esta manera se prestará atención prioritaria a las variables que influyen en los puntos de vista mas frecuentes.

2.2. Criterios Particulares

En este apartado se tratará de reglas mas detalladas del Diseño. En general estos criterios de detalle proceden del Análisis de Formas aplicables al Diseño de un proyecto de ingeniería.

2.2.1. Forma

La manera académica de llegar al concepto de Forma es recorrer la geometría partiendo de los elementos de una dimensión hasta llegar a los de tres dimensiones: Primero es el punto, este genera rectas y curvas, con las rectas y curvas se generan superficies y estas a su vez generan volúmenes. Los volúmenes tienen la Forma que le proporcionan las superficies que les delimitan. Las Superficies tiene la Forma del contorno de líneas que las delimitan. Y las líneas tienen la Forma del conjunto de puntos que las definen.

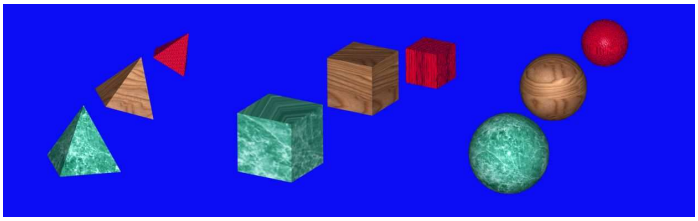


Figura 1 Forma, Tamaño, Color, Textura

Para lo que aquí interesa principalmente, las Formas que nos encontramos en las creaciones de Ingeniería son en general tridimensionales, aunque en muchos casos se pueden percibir o asimilar a bidimensionales o unidimensionales (el espejo de agua de un puerto o la línea de una carretera). Se puede decir que la Forma es la configuración

externa de algo. Definición que hace referencia otra vez al contorno externo de un volumen.

Las Formas tienen una serie de propiedades de las cuales vamos a destacar: El tamaño: Para lo que aquí interesa, en general va a ser una propiedad relativa y no absoluta que dependerá del tamaño de las otras Formas próximas con las que se compare. El color: En ingeniería el color no siempre es un elemento de diseño pues el color es dado muchas veces (no se puede elegir el gris de un pavimento) pero en algunas ocasiones si se puede utilizar como un elemento de diseño. La textura: Es una propiedad que se aprecia en las distancias cortas, más propia del Diseño de Interiores o de La Arquitectura y menos importante para la Ingeniería.

2.2.2. Formas Positivas o Negativas

Las Formas pueden ser positivas o negativas. Las Formas positivas son las que dan un volumen predominantemente convexo en tanto que las formas negativas aparentan un volumen cóncavo. En Arquitectura se diferencian muy bien ambas formas cuando observamos un edificio desde el exterior o desde el interior. En este sentido las formas negativas son muy importantes para la Arquitectura pues se identifican con el concepto de Espacio. El espacio generado para ser usado o habitado.

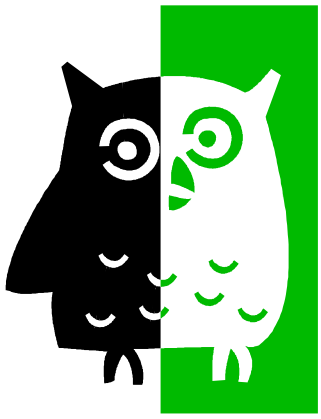


Fig. 3 Positiva Negativa

En general se puede decir que las formas positivas ocupan una parte del espacio, se añaden al espacio. Mientras que las formas negativas recortan un trozo del espacio, encuadran el espacio. Por ejemplo la escultura clásica realiza formas positivas mientras que algunos escultores modernos como E. Chillida vacían un espacio en el interior de sus esculturas. En Ingeniería también se pueden utilizar ambas clases de formas para determinados diseños, como ejemplos de Formas negativas se tiene el espacio que un arco recorta por debajo de él, la parte interior de un túnel, El vaso de un embalse, etc.

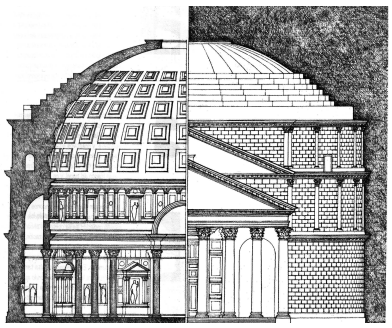


Figura 2 Positivas y Negativas

2.2.3. Formas Básicas

Existen unas formas básicas que provienen de la geometría y que son origen más o menos lejano de las formas que se usan habitualmente en Ingeniería. Hay unos sólidos geométricos que se llaman Platónicos por que los utilizaba en su escuela el filósofo Platón (volúmenes cuyas caras son polígonos de lados iguales). Las Formas básicas modernas no coinciden con ellos; pero a partir de estas formas mediante la intersección con planos, superficies o con otras, se pueden generar muchas de las formas que usamos habitualmente en Ingeniería. También se pueden transformar modificando alguna de sus dimensiones o proporciones.

Figura 4 Formas básicas

2.2.4. Interrelación de Formas

Las formas se interrelacionan según su posición unas respecto de otras. En un caso tan simple como dos círculos iguales, pueden estar:

1) Distanciadas una de otra. Es evidente que si la distancia es muy grande respecto de su tamaño, es como si no tuvieran relación. Por tanto el término: Distanciadas se refiere separadas pero relacionadas por su proximidad. Esta relación se puede subrayar por la existencia de una segunda Forma que las conecte. Fig. 5. La segunda Forma ha de ser diferente que la de los dos primeros o de tamaño muy diferente, pues de lo contrario hablaríamos de tres formas relacionadas (véase Repetición)

Figura 5 Formas Distanciadas o Relacionadas

2) Tangentes: Las dos formas son precisamente tangentes. Todavía la Forma de cada elemento se percibe con nitidez como independiente, se entiende que son dos formas juntas y no una del conjunto. Fig. 6.
3) Unión: Equivale al concepto matemático de Unión de Conjuntos. Dos formas que están solapadas dan lugar a una Forma nueva que es la suma de los espacios ocupados por cada una de las dos precedentes. Fig. 7.
4) Sustracción: Cuando de una Forma se resta un espacio ocupado por otra Forma y queda solo la parte remanente de la primera. En este caso las formas pueden ser iguales o diferentes, del mismo tamaño o de otro tamaño. Ver figura 8.

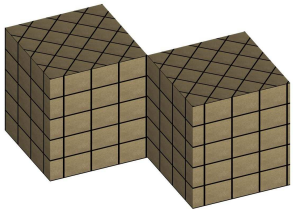


Fig. 6 Formas Tangentes

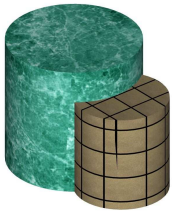


Fig. 7 Unión

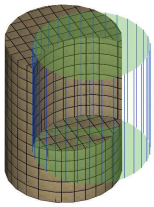


Fig. 8 Sustracción

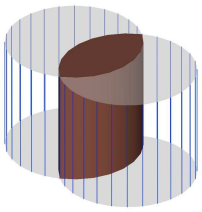


Fig. 9 Intersección

5) Intersección: Equivale al concepto matemático de Intersección de Conjuntos. Se produce a partir de dos formas que están solapadas en el espacio y la nueva Forma retiene solamente la parte de espacio ocupada simultáneamente por ambas formas originales. Fig. 9.

Más adelante se vera como unas formas generadas de una manera tan sencilla como las aquí descritas en función de su posición relativa, tiene aplicación práctica en nuestros puentes.

2.2.5. La Repetición

La simple repetición de una Forma puede dar resultados sorprendentes, diferentes a los de la Forma aislada por si misma. Lo que en arte moderno se llama "instalaciones", que todos hemos visto alguna vez en Exposiciones de Arte actual, utiliza frecuentemente este concepto de repetición de objetos para generar impresiones completamente diferentes de las que produce la Forma aislada.

La Repetición perfecta o en sentido estricto, es la que repite formas iguales, del mismo tamaño, color y textura; Pero también se puede hablar de repeticiones imperfectas que son aquellas que:

a) Repiten la Forma solamente pero no del tamaño ni otras cualidades.
b) Repiten el tamaño que solo es posible cuando las figuras son muy similares
c) Repiten el color, haciendo que los elementos se relacionen unos con otros por tener el mismo color.
d) Repiten las texturas, siendo en este caso la textura la que relaciona a los elementos entre

Algunas de esta repeticiones nos traen la idea de "hace juego con" hay una propiedad en común que es la que genera la idea de repetición. La repetición más importante para

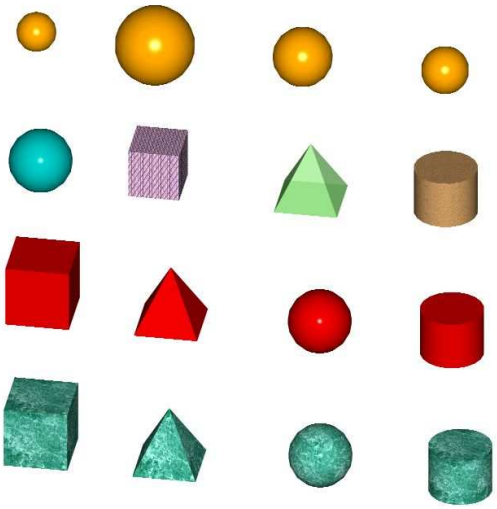


Figura 10 Repeticiones

a) Forma b) Tamaño c) Color d) Textura

el diseño es la de la Forma o figura. La Repetición con mayor fuerza es la que repite todas las cualidades: Forma, Color, Tamaño, y Textura, es decir se repiten formas idénticas.

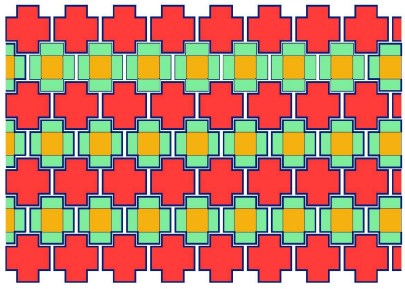


Figura 11 Supermódulos

La repetición puede utilizar figuras compuestas en lugar de figuras simples, por ejemplo bandas de cruces rojas que alternan con bandas de cruces verdes con un cuadrado amarillo en su centro. A estas figuras se les suele llamar supermódulos y la repetición de estos supermódulos da lugar a diseños más sofisticados. Un caso particular de supermódulo es el que se logra mediante composiciones de una Forma y su reflejada. Este supermódulo presenta propiedades muy interesantes.

2.2.6. La Estructura

La manera en que un conjunto de formas (una repetición) se organiza es denominada Estructura. La estructura incluye los elementos de relación entre formas y es esencial en el Análisis de Formas.

En general la organización y disposición de formas en una repetición suele responder a una Estructura Por ejemplo si se disponen cruces sobre un mallado de cuadrados tendremos una estructura en la que apoyarnos para la colocación de nuevos elementos de la Repetición. La Estructura puede ser tan sencilla como la que se acaba de comentar o puede ser tan compleja como cada uno pueda imaginar. Luego se verán ejemplos de estructuras más complicadas.

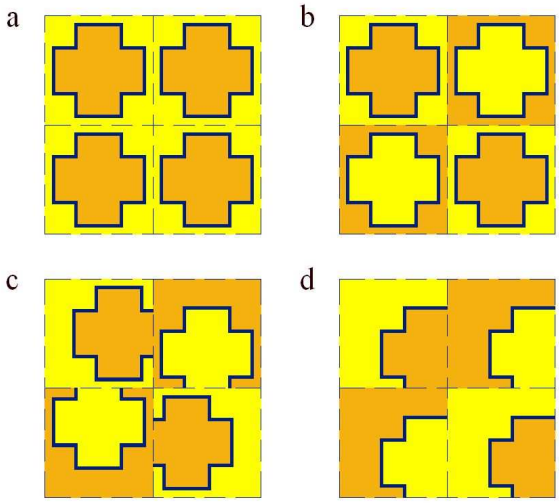


Figura 11 Estructuras Activa o Pasiva

La Estructura puede ser activa o inactiva. a) Si la estructura gobierna conceptualmente la colocación pero no interfiere con los módulos se dice que la estructura es inactiva casos a) y b); Sin embargo si la estructura interfiere con los módulos o estos con aquella,

casos c), y d) se dice que la estructura es activa. En la interrelación de la estructura con los módulos y de estos entre si cuando rebasan su recuadro, cabe aplicar cualquiera de las soluciones comentadas cuando se expuso la relación entre formas.

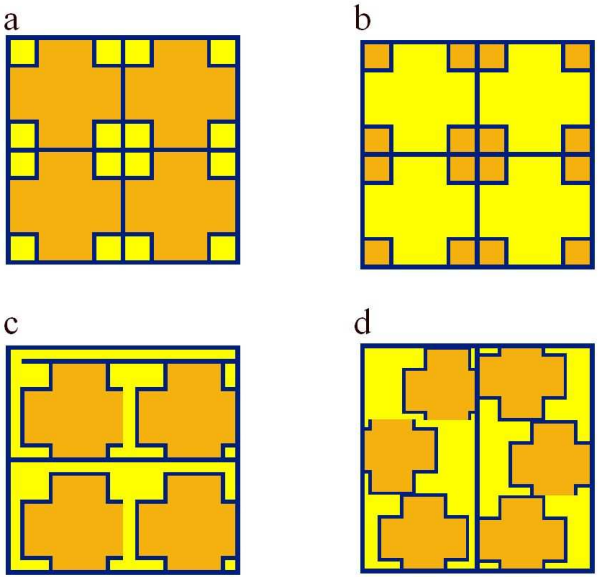


Figura 12 Estructuras Visible o Invisible

Además la estructura puede ser visible o invisible según que las líneas que marcan la estructura sean visibles o no. A veces estas líneas de la Estructura son dadas y en ese caso seguramente serán visibles como luego se verá. En cualquier caso se muestra de nuevo una serie de cruces con Estructura en retícula cuadrada, las líneas de esta estructura tienen líneas parcialmente o totalmente visibles según los casos.

2.2.7. La Radiación

La Radiación puede ser considerada un caso particular de Estructura en la que la ordenación se genera por rotación alrededor de un punto. Así aparecen por una parte Estructuras Centrífugas, Centrípetas y Concéntricas, y por otra con el centro de giro dentro o fuera del diseño. Los módulos se pueden colocar en el enrejado rotacional o también se pueden girar directamente, ya que el resultado es el mismo.

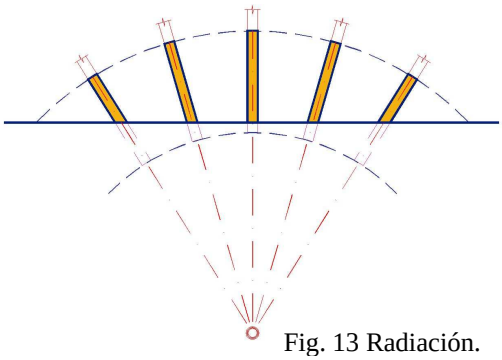


Fig. 13 Radiación.

2.2.8. La Gradación

Cuando los diferentes elementos de la repetición son similares pero no iguales, o bien ocupan posiciones diferentes en el espacio del Diseño, se puede incorporar el concepto de Gradación, que también se puede denominar Ritmo. El Ritmo sería la ley que interpretan los sucesivos elementos durante su repetición. Recuerdan a esas series

de objetos de los "test de inteligencia" que permite localizar cual seria el siguiente elemento de una serie. Hay diversas formas de obtener un ritmo en una serie: Se puede generar un ritmo con la posición que ocupan elementos iguales en el espacio, casos a) y b). También mediante la modificación gradual de la Forma para convertirla en otra caso c). Finalmente se puede lograr un ritmo con el tamaño de los elementos de la repetición caso d). La velocidad del ritmo es importante y hay que tener cuidado con la velocidad excesiva pues si en el caso c) se cambiase la Forma en solo dos elementos no existiría gradación si no dos formas diferentes mas o menos relacionadas.

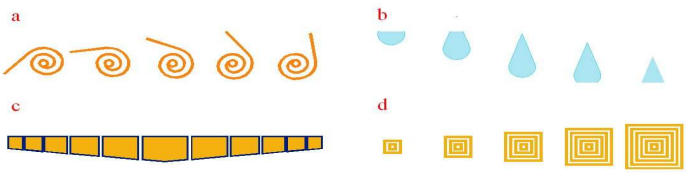


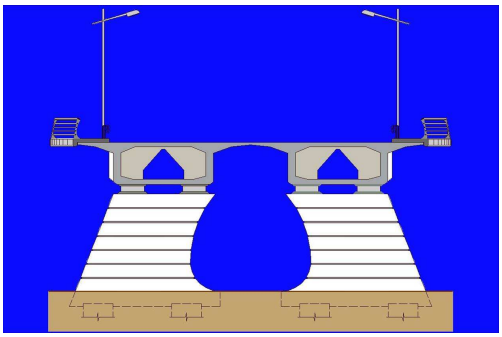
Figura 14 La Gradación o Ritmo

2.2.9. La Anomalía

La Anomalía es para paladares exquisitos. La Anomalía consiste en romper intencionadamente la Repetición o su Ritmo precisamente para subrayar la armonía desde la carencia de ella. También se puede usar la Anomalía para llamar la atención hacia una parte del diseño.

3. PARTE TERCERA: EJEMPLOS EN NUESTROS PUENTES

3.1. Pilas del Puente del río Guadiana en Mérida



El concurso del Puente sobre el río Guadiana en Mérida fue una ocasión para cuidar especialmente todas las formas. En particular el proyecto que nosotros presentamos cuidó el diseño de las pilas. La forma de las pilas se configuró como la sustracción de un trapecio menos un círculo no coincidente con el mismo, si no centrado en horizontal y desplazado hacia arriba en vertical. Como se trata de un objeto de tres dimensiones, en la dirección longitudinal se estableció una

disminución de canto de abajo hacia arriba y unos bordes afilados en tajamar en sus dos laterales.

Así se puede ver que la forma de esta pila es una aplicación de la sustracción de formas y por otra parte ha dado lugar a una forma positiva cuando se presta atención al volumen de hormigón y a otra negativa cuando se atiende al hueco que queda entre las cuatro pilas.

A su vez en la dirección longitudinal un trapecio al que se le sustraía una zona central circular En estas pilas se pondrá de manifiesto el concepto de Contraste: recta versus curva.

3.2. Torre de una pasarela atirantada

Se trata del diseño de la torre de una pasarela atirantada sobre la autopista del Valle de la Orotava en Tenerife. El Valle de la Orotava es un paraje de singular belleza donde fijó su residencia el Explorador y Geógrafo Humboldt en los últimos años de su vida, después de haber visto paisajes por todo el mundo. La pasarela sobre la autopista tenia como uno de sus principales elementos de diseño la torre desde la que se atirantaba el tablero. Se pensó reproducir en acero la forma de la sección transversal de las columnas de las iglesias góticas. La más sencilla de ellas es la compuesta por dos formas: un cuadrado y una serie de círculos que lo intersectan. Se dibujaron las diferentes posiciones de estas formas partiendo de la base de que las cinco formas se iban a penetrar y que finalmente se retendría como forma la unión de todas ellas.

Finalmente se eligió una que destacaba más los círculos que el cuadrado. Así parangonando la celebre frase arquitectónica: “gótico hoy, si; Pero con acero y poli-carbonato …”, la pasarela se construyó en taller y se erigió en medio del Valle de la Orotava como una columna gótica, en acero “corten” con tirantes de acero

de alto límite elástico.

Así en este ejemplo se han puesto de manifiesto la interrelación de formas y en particular el concepto de: Unión de cinco formas que se penetran unas a otras, cuatro círculos iguales y un cuadrado.

3.3. Arcos de Chiclana y Valladolid.

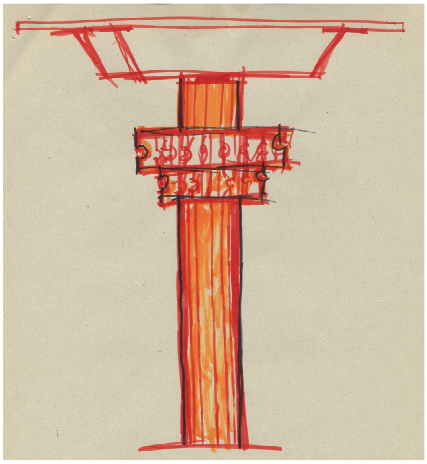
En el concurso para el quinto puente sobre el río Pisuerga en Valladolid se diseño un puente en arco de tablero inferior; Si bien formalmente se continuó el arco hasta el terreno en realidad el arco se terminaba como un "Bow-String". El desafío de reste diseño estaba sobre todo en lograr una apariencia formal bella y actual, el peligro era diseñar un puente con aspecto de los arcos de ferrocarril de principios de siglo XX del cual existe precisamente un ejemplo en un puente sobre el Pisuerga en Valladolid, el Puente de Hierro.

Para lograr nuestro propósito se estudiaron las formas y sus relaciones, en primer lugar se decidió que los arcos fueran tubos de acero. La forma de perfil circular no ha sido usada más que recientemente y con esta elección se empezaba a dar un aire moderno al puente. Se quería además evitar el arriostramiento horizontal contra pandeo entre arcos de uno y otro lado, siguiendo las realizaciones del magnifico ingeniero belga Jean Marie Crémer (2005 IABSE award of merit in structural engineering). Para ello se necesita tener inercia transversal a fin del que el arco no pandee fuera de su plano. Uniendo esta idea con la de repetición de la forma circular se decidió que la sección del arco estuviera formada por dos círculos en vez de uno. La relación entre los dos círculos convenía en este caso que fuera la que hemos llamado distanciamiento con elemento de relación entre ellos, pues así se lograba

una mayor inercia y también se percibía claramente dos círculos completos en vez de uno. Teníamos pues dos arcos de sección transversal circular, pero queríamos tener más, repetir la forma más veces. Para ello utilizamos la sección transversal del puente en su conjunto. Se trataba de una calle de dos calzadas por lo que existía la posibilidad de colocar un arco doble en cada borde o colocar además otro arco doble en el centro, entre las dos calzadas. Dado que la repetición no solo no nos molestaba si no que era lo que buscábamos se decidió colocar tres plano de dobles arcos uno a cada lado y otro en el centro con lo cual teníamos un total de seis círculos que sin duda nos darían ese efecto de repetición que estábamos utilizando en el diseño. El aspecto final del proyecto es el que se muestra en la figura. Pero desgraciadamente la Administración decidió construir el proyecto base y rechazar nuestra variante. Aun más tubos por arco se pueden encontrar en el arco sobre el Guadiana de S. Calatrava en Merida y en el Arco sobre el Centa, en Albenga (Italia)

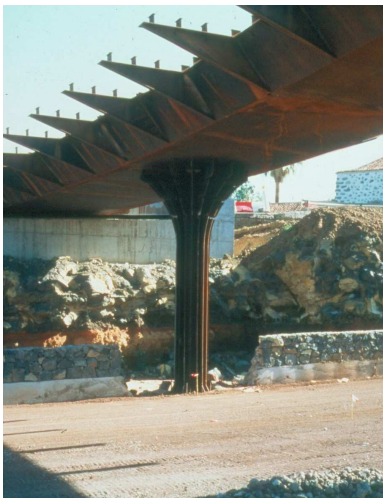
Sin embargo años después tuvimos la oportunidad de diseñar un puente singular en Chiclana (Sevilla) y utilizamos las ideas aquí indicadas con la única diferencia que allí se trataba de una calle sin mediana por lo que no se podía ubicar un arco en el centro así que tuvimos que conformarnos con cuatro arcos, dos en cada lado, de sección circular.

En este ejemplo se han puesto de manifiesto el concepto de repetición, el de distanciamiento y el de relación mediante un tercer elemento entre dos formas distanciadas.



3.4. Diseño de las Pilas de los pasos superiores

Sobre el diseño de las Pilas de los pasos superiores parece que estuviera todo dicho; Sin embargo un diseño original siempre es posible si la



imaginación esta despierta y alerta a la inspiración que puede surgir en cualquier momento. Esta vez la inspiración surgió al ver unas palmeras en Tenerife. Había estado ojeando el libro de diseño de Wucius Wong titulado: El diseño bi y tri dimensional y había retenido de él un ejercicio que consistía en generar cuerpos de revolución con unas cartulinas dispuestas radialmente desde una línea vertical. Pensé que las palmeras se podrían generar así y me puse a dibujar en un sobre una palmera concebida de este modo. De la palmera pase a las pilas, y a medida que iba explorando las posibilidades me di cuenta de que la Forma tenia unas posibilidades extraordinarias.

Cuando volví a la oficina hice algunas maquetas en cartulina y de entre ellas elegimos los modelos mas adecuados para todas las pilas de la Autovía de La Orotava en Tenerife. Incluso una con forma de Palmera que construimos en una isleta de la autovía para informar al espectador del origen formal de aquellas pilas. Y también para que quedará como una escultura.

Este experimento ha tenido una segunda parte en Madrid en la Autopista Radial 4 (AP 4) y luego una tercera en la Autopista Ocaña La Roda que es continuación de aquella. En el caso de la autopista Radial (AP-4) las pilas son similares a las de Tenerife con la diferencia de que en estas el adorno se generaba como una forma positiva que sobresalía del fuste de la pila, en tanto que en Madrid los adornos eran formas negativas que se tallaban, por así decirlo, en el fuste de las pilas.

Aun ha habido una tercera generación de pilas procedentes de la misma idea, las pilas de los pasos superiores de Ocaña La Roda. En este caso las pilas no eran mixtas como en La Orotava y Mdrid AP-4, se trataba de Pilas de Hormigón y la Administración nos pidió que hiciéramos algún diseño de las mismas que

fuera un poco más allá del fuste cilíndrico típico. Pensamos inmediatamente en hacer algo similar a las aletas metálicas con adornos. En hormigón era mas difícil pues había que ver como se colocaba la armadura en las entalladuras, al fin decidimos utilizar hormigón con fibras metálicas y superfluidificado para que penetrara bien en todos los recovecos. Se hizo una formula y una prueba que funcionó perfectamente por lo que se construyeron estas pilas de "tercera generación sobre la idea base del diseño de una forma con repetición radiada.

Se ha puesto aquí de manifiesto la repetición tri-dimensional de una forma con estructura de radiación, también las formas positivas y negativas e incluso el concepto de modulo si consideramos la repetición de las pilas en el conjunto de todos los pasos superiores de la autopista.

3.5. Puente sobre el río Guadiana

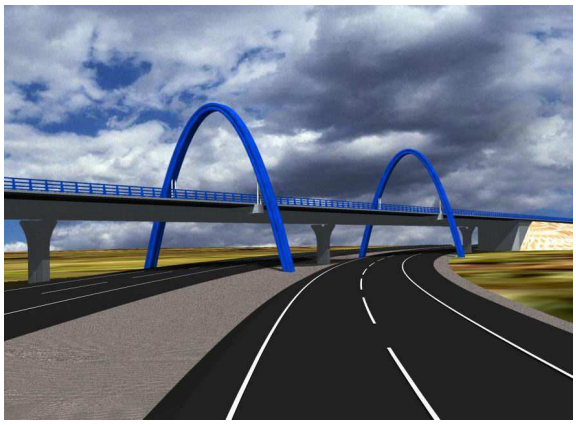
Este Puente fue diseñado recientemente para un concurso que convoco la Junta de Extremadura. Se partía de la base de que se quería un puente singular y al mismo tiempo que el presupuesto no fuera desorbitado como ocurre tantas veces con los puentes singulares. Para logar ambos objetivos se utilizaron dos criterios generales. En primer lugar utilizar luces relativamente pequeñas, incluso aunque el puente utilizase tipos estructurales que son óptimos para luces mucho mayores. A menor luz menor coste dentro de un mismo tipo estructural. En segundo lugar utilizar tipos estructurales que no fueran puramente funcionales si no que tuvieran un cierto grado de estética no funcionalista.

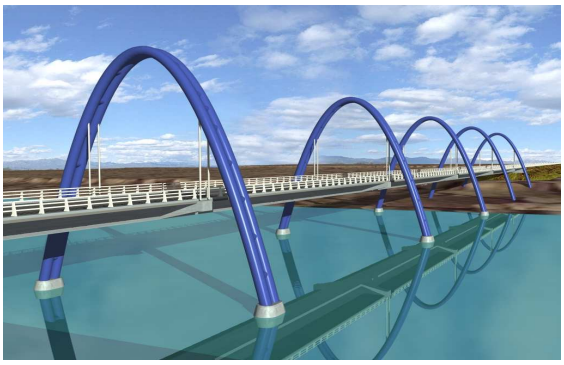
A partir del Marco definido por la Propiedad y tomando como guía los dos criterios citados, se plantearon una serie de soluciones alternativas que cumplieran con la idea de Puente Singular. El concepto de

Puente Singular es relativo lo que para unos en un determinado contexto y lugar puede considerarse singular para otros podría considerarse estándar.

El concepto de Puente Singular, en nuestra opinión, está en relación con la sensación que produce en el espectador. Para ello aparece una primera condición: El Puente debe ser visto. Cuanto mas fácil sea verlo mas posibilidades de producir sensaciones en el espectador. La forma en que un Puente no urbano es visto por más espectadores, es que tenga parte de su estructura por encima de la carretera. Así: arcos por encima del tablero, puentes atirantados, puentes colgantes, etc. son percibidos por el usuario al atravesar el Puente. Desde un punto de vista estrictamente estructural estos puentes se emplean en grandes luces; Pero, como queda dicho, la irrupción de los aspectos formales y arquitectónicos en el diseño de Puentes de los últimos veinte años ha difundido su utilización en luces menores por estas consideraciones. En el caso del Puente sobre el Guadiana, la otra condición impuesta por la Propiedad, un presupuesto razonable, nos lleva precisamente a la utilización de estos tipos de Puentes con luces menores para no desorbitar el coste.

Dentro de las soluciones de arcos por encima del tablero se ha explorado una solución nueva a base de arcos transversales que actúen como “pilas” colgando el tablero de ellos. Esta solución de Arcos múltiples por encima del tablero es completamente original no existiendo realizaciones similares que nosotros conozcamos. Nosotros habíamos empleado arcos transversales por debajo del tablero a modo de pilas para resolver problemas de oblicuidad entre una línea de ferrocarril y el AVE (ver figura). Y más tarde arcos transversales por encima del tablero a modo de pilas para resolver problemas de oblicuidad con galibo vertical estricto entre un ramal y el tronco de la Autopista de peaje Ocaña La Roda (ver figura). A partir de estas realizaciones anteriores se nos ocurrió extrapolar la utilización de esta solución para el Concurso del Guadiana



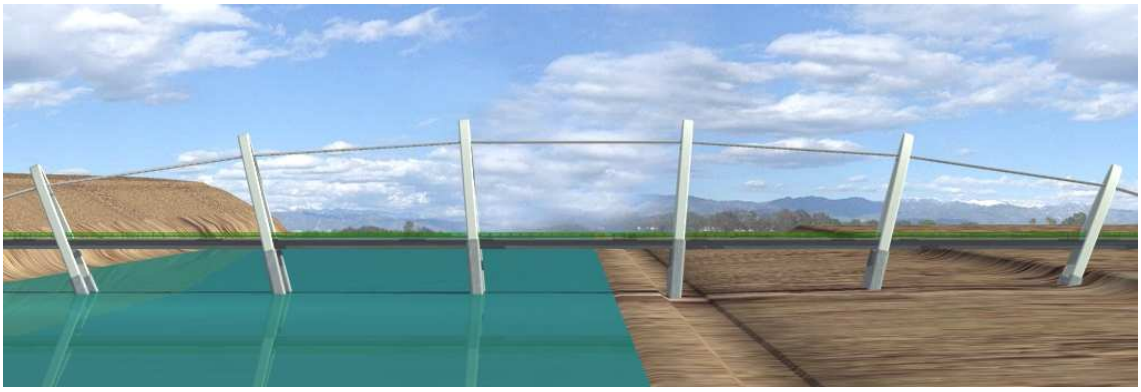


aunque aquí no hubiera problemas de galibo vertical ni de oblicuidad. Aquí su utilización era puramente formal y por eso la idea fue repetir estas pilas arco un número grande de veces.

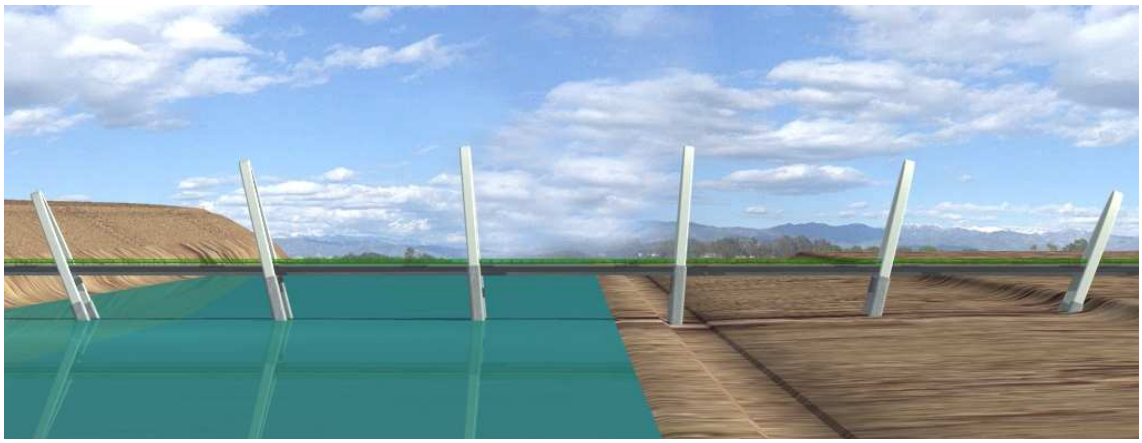
La evolución del diseño de esta solución ha pasado por varias etapas. Inicialmente se dibujo una solución con cinco arcos y seis vanos, es decir cinco "pilas" en arcos transversales, en las que todos los arcos eran verticales y de igual altura. Los arcos eran metálicos rellenos de hormigón, la forma de los arcos era similar a la que se ha descrito anteriormente para los arcos longitudinales, es decir eran con sección transversal del arco en doble tubo empresillado. Las perspectivas que se obtienen desde fuera del Puente y, sobre todo, la extraordinaria sensación del usuario que atraviesa el Puente por dentro de los arcos es muy novedosa y original.

Sin embargo un estudio de las posibilidades formales de esta solución llevó a varias modificaciones que la enriquecieron notablemente. En efecto la idea de repetición de una Forma bella, que ya se ha comentado cuando se describieron los arcos longitudinales, se aplicó desde el principio a este diseño. Por eso y a fin de remarcar este efecto multiplicador se añadió un arco más de modo que la solución incorpora seis arcos y siete vanos.

Después se modificó la verticalidad de los arcos y se les dio una inclinación



creciente hacia ambas orillas, que fue acompañada de una modificación gradual en la altura de los arcos. Así el diseño, que incluía la repetición de la forma bella, se enriqueció con la ordenación, con un ritmo para el conjunto de los arcos. Los seis arcos se configuran como los radios de un arco mayor que es descrito por las claves de los arcos menores. Inicialmente se pensó en reforzar este orden con unos tubos que describiesen el arco mayor; pero después se vio que la estructura quedaba más elegante con la mera insinuación de este arco sin subrayarlo demasiado.



Por otra parte se modificaron las secciones y los materiales iniciales de arco y tablero. Los arcos pasaron de metálicos a hormigón, a fin de minimizar las operaciones de mantenimiento y conservación del Puente. La sección transversal pasó de un doble círculo a rectangular redondeada mas apropiada para el hormigón. La sección incorpora grandes chaflanes en la esquina de unos 10 cm. de lado que aproxima el rectángulo a una forma más redondeada y el hormigón será de cemento blanco y áridos bancos en la totalidad de los arcos, así como en las impostas y baberos de las mismas.

Al pasar los arcos a hormigón el proceso de construcción cobra importancia pues es más difícil colocar “in situ” un arco de hormigón que uno metálico. Inicialmente se pensó en ejecutar “in situ” con encofrados trepantes la parte de abajo del tablero y en prefabricar la parte superior de los arcos en varios sectores. Pero luego a la vista de la dificultad de manejo de estas grandes piezas de hormigón y de sus uniones, se decidió diseñar un proceso constructivo “ad hoc” que utiliza la técnica de rotación en la base, empleada (en otro contexto) para la construcción de arcos de hormigón.

De entre todas las soluciones estudiadas se ha elegido esta última por que se considera que es la que mejor cumple los criterios que se fijaron al principio del trabajo: Por una parte es una solución cuyo presupuesto encaja dentro de lo estipulado por la

Propiedad y por otra parte es un puente singular, completamente original y de gran valor formal. Nos parece importante resaltar el paso por dentro de los arcos con la magnifica perspectiva que percibe el usuario, una foto fija de la cual es la figura adjunta.

En cuanto al tablero se ha diseñado con forma curva en su cara inferior lo que en el lenguaje especializado se denomina "en vientre de pez" esta forma tiene la particularidad de que disminuye el ángulo sólido y por ello el canto aparente del tablero. El cuelgue de los arcos se planteo inicialmente inclinado a 45º pero las dificultades que surgían con cables tan cortos hacían muy difícil esta disposición por lo que finalmente se dispusieron verticales y en color blanco igual que los arcos. Para colgar el tablero se dispone una viga transversal embrochalada en el tablero que sobresale lateralmente del mismo. En su arista superior lleva imposta dotada de babero en hormigón blanco que recorre toda la longitud del Puente incluso las aristas de la traviesa de cuelgue.

En este ejemplo se pondrá de manifiesto la repetición, el Ritmo invisible con estructura activa visible (terreno y tablero), la similitud, la distorsión y la gradación con estructura de radiación de centro excéntrico.

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] El Banquete/Fedro.Platon. Altamira,S.A. Los grandes Pensadores. SARPE ISBN 84-7291-732-0

[2] Dialogos. Platon. Altamira, S.A. Los Grandes Pensadores SARPE. ISBN 84-7291569-7

[3] Le Corbusier. Analisis de La Forma.Geoffrey H. Baker. Editorial Gustavo Gili, S.A.

[4] Arquitectura. Forma, espacio y orden. Francis D. K. Ching. Editorial Gustavo Gili, S.A.

[5] Diseño y Funcionalidad Visual en la Obra Publica. Modest Batlle Girona. Colegio de Ingenieros de Caminos C. y P. Colección Ciencias y Humanidades.

[6] The aesthetics of concrete bridges. Concrete Bridge Developement Group. The Concrete Society. ISBN 0 946691 80 0

[7] Fundamentos del diseño bi y tridimensional. Wucius Wong. Editorial Gustavo Gili, S.A.