

## A PONTE AKASHI-KAIKYO

Aderlaine F. Mairinck

Maicon M. de Oliveira

Melyssa Nogueira B. Palmeira;

Waldeir Ribas P. Junior.

Bacharelado em Engenharia Civil das Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil

Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil

Evanilton Rios Alves

Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil

era.nilton@hotmail.com

Maria Ângela Basilêu

Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil

mabasileu@yahoo.com.br

Marise de Barros Miranda Gomes

Faculdades Metropolitanas Unidas, Brasil

marise.gomes@fmu.br

### RESUMO

O presente artigo tem por objetivo destacar basicamente a ponte suspensa Akashi Kaikyo. Considerada a ponte com maior vão central, ente dois pilares, do mundo, a chamada Akashi foi desenvolvida visando crescimento econômico e cultural do Japão. A obra passou por vários desafios devido a severas condições naturais, tais como: enorme profundidade da água do rio que a ponte corta, mau tempo, furacões e terremotos. Além disso, abordaremos os métodos e tecnologias específicos totalmente voltados para o caso Akashi, como por exemplo, o modo como foi projetado os deques (tabuleiros) levando-se em conta a aerodinâmica preparada para os fortes ventos orientais, assim também, tanto o concreto especial utilizado nas torres, que além de mais resiste é ainda mais leve do que o usual, como também o aço especialmente preparado para as torres capazes de suportar fortes tremores ou até mesmo terremotos. Ainda assim, será destacado o modo como as torres foram projetadas visando não permitir que elas balancem a ponto de tombamento durante tremores e terremotos por serem instalados amortecedores. Veremos também nessa pesquisa de estudo a complexidade que envolve o projeto de fundação para uma torre de aço de 300 metros de altura quando se trata de uma construção em auto mar. Como se leva o concreto e como ele não se mistura com a água. Assim sendo, levaremos também em consideração o grande empenho que os japoneses tiveram para o projeto, execução e conclusão da ponte *Akashi-kaikyo*, porém sempre destacando-a como uma incrível e gigantesca façanha da engenharia moderna

**Palavras-chave:** Condições Naturais: Desafio: Tecnologia.

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem por objetivo esclarecer alguns aspectos da engenharia em relação a pontes suspensas, além do combate ao clima, como fortes ventos e terremotos. Abordaremos algumas definições importantes em relação à complexidade das fundações, bem como materiais utilizados e tecnologias voltadas especificamente para esse tipo de ponte.

Para tanto, mostra-se necessário dar o conceito de ponte suspensa, um tipo de ponte suspensa por cabos constituída de um ou mais mastros ou base, de onde partem cabos de sustentação para os deques, tabuleiros da ponte e onde ocorrerá o tráfego de veículos e pedestres.

No decorrer do trabalho vamos destacar especificamente a bem conceituada ponte japonesa, *Akashi Kaikyo*. Localizada no estreito de *Akashi* (Japão) entre a cidade de *Kobe* e a ilha *Awaji*, faz parte de uma rede nacional de estradas que conecta as ilhas *Honshu*, *Awaji* e *Shikoku* com o objetivo de estimular o crescimento econômico e o intercâmbio cultural do oeste japonês.

Consideramos a *Akashi Kaikyo* uma complexa e desafiadora obra à engenharia, pois quando concluída (1998), com 3911 m de comprimento total e 1991 m de vão central (distância entre as bases centrais), a *Akashi-Kaikyo* tornou-se a ponte com o maior vão do mundo. E para isso teve de superar severas condições naturais do estreito, tais como: grande profundidade, fortes correntes, mau tempo, risco de furacões e até mesmo ser colocada à prova pelo terremoto *Hyogo-ken Nanbu* (1995), que teve como única consequência para a ponte o fato de ter deslocado seus pilares, aumentando em 1 m a distância entre eles.

Portanto, nosso objetivo é mostrar e destacar as complexidades envolvidas numa construção desse porte, bem como as incríveis tecnologias criadas e específicas para a *Akashi* que como veremos contribui até hoje, a ser considerada uma gigantesca obra da engenharia.

## COMBATENDO O CLIMA

Nas construções de ponte, o clima é um fator que deve ser levado a sério. A força da natureza é o mais difícil a se combater.

Segundo Beazley (1996, pag.47), afirma que chuva, gelo, vento e sal podem derrubar uma ponte quando atuam sozinhos. Uma combinação desses elementos é ainda mais preocupante, esse é o desafio que temos até hoje para executar uma obra de tal porte.

Os projetistas da ponte *Akashi* aperfeiçoaram seu ofício após estudar as falhas do passado. O ferro substituiu a madeira e o aço tomou o lugar do ferro. E cada novo material ou técnica de design sempre é criado levando-se em consideração as lições do passado.

A *Akashi-Kaikyo* foi criada para lidar com a torção, a ressonância e a aerodinâmica (após vários colapsos espetaculares). Os problemas do clima, ainda não foram completamente resolvidos. Casos de falhas criadas pelo clima ocorreram muito mais do que as criadas por problemas de planejamento. E isso quer dizer que nós ainda temos que criar uma solução eficaz. Até hoje, não houve um só material de construção ou design de ponte específico que conseguisse eliminar ou mesmo diminuir os efeitos das forças da natureza. A única coisa que está em nossas mãos é a manutenção preventiva, essa manutenção preventiva ficou por conta da equipe de tecnologia da computação que criou um sistema que no caso da ponte em questão é feita por robôs instalados nas treliças que combatem qualquer tipo de fissura que o material possa sofrer.

## AMORTECEDORES

Por se tratar de uma região muito turbulenta, por conta das correntes marítimas e dos ventos fortes, os engenheiros civis contaram com a ajuda da equipe de tecnologia para a implantação da nova idéia.

O uso da ciência e da engenharia da computação foi indispensável nesse tipo de construção. Foram projetados 20 enormes amortecedores de 10 toneladas cada para resistir aos terremotos, instalados dentro das torres de aço. Assim, quando o tremor tende a inclinar a torre para um lado, os pesados amortecedores a inclinam para a direção oposta contrabalançando o movimento, evitando o tombamento da ponte (Figura 1).

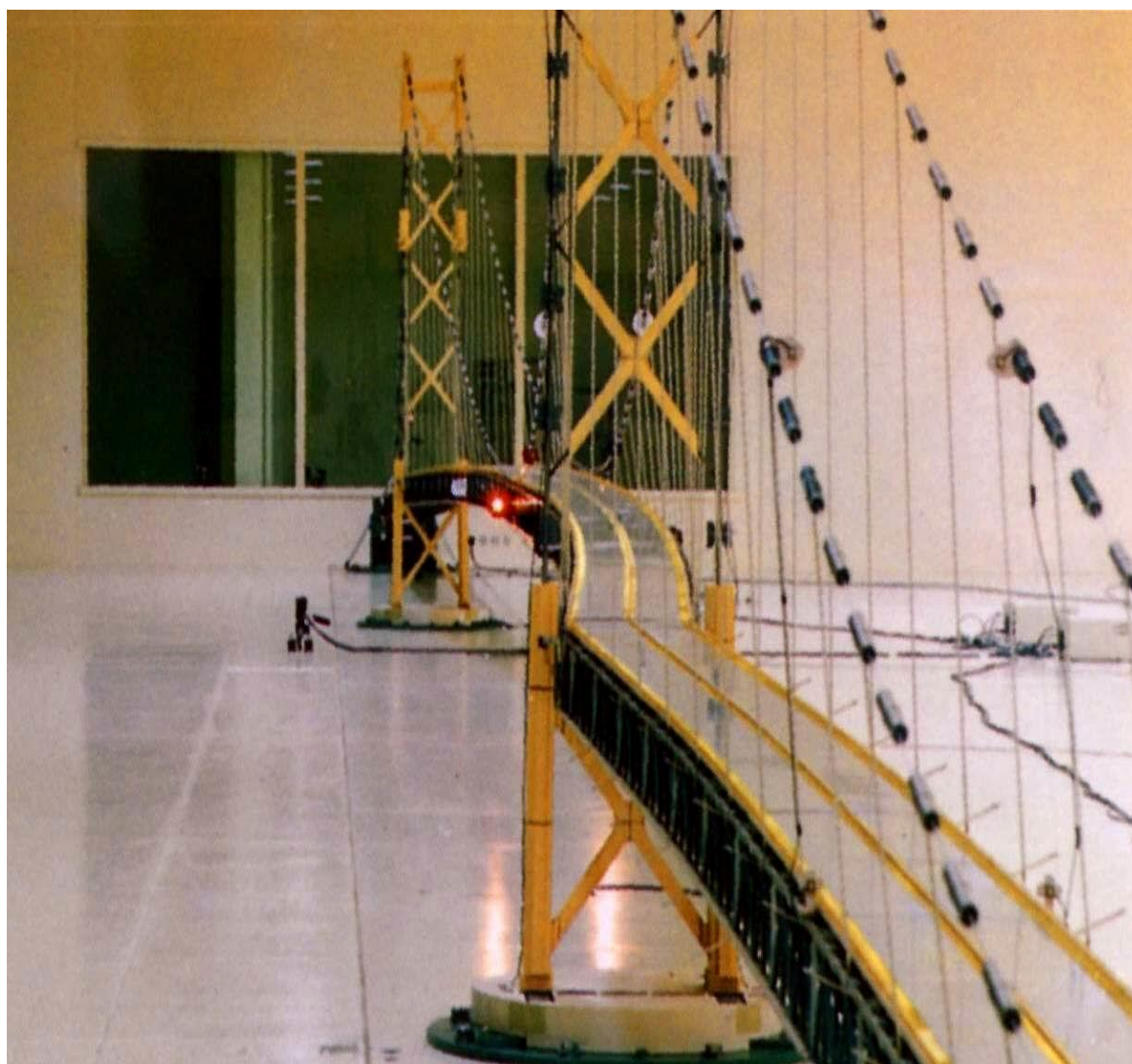


**Figura 1.** Amortecedores

Forum Outerspace. Terremoto Atinge o Chile. Recuperado em 7 outubro, 2011, de <http://forum.outerspace.terra.com.br/index.php?threads/terremoto-attinge-o-chile.151215/page-2>

## TERREMOTO

Por conta de um terremoto que afastou em 1 m a torre e a margem, a ponte com 3,8 km precisou ficar ainda maior, chegando aos seus 3,9 km. Preparados para esse tipo de imprevisto, o projeto da ponte feito em escala 1:100, testou exaustivamente a força do vento e dos terremotos, os resultados mostraram que a ponte é capaz de suportar até 8,5 graus de magnitude na escala *Richter* ocorrendo a uma distância de 150 km da ponte e outro com um período de ocorrência de 150 anos com epicentro dentro de um raio de 300 km ao redor da ponte. A combinação dessas ciências grandiosas resultou em obra incrível que entrou para história das engenharias. Na Figura 2 apresenta-se uma maquete da ponte *Akashi-Kaikyo* usada para testes.



**Figura 2.** Maquete da ponte *Akashi-Kaikyo*.

IMC. (2011). Ponte Akashi-Kaikyo. Recuperado em 7 outubro, 2011, de <http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/akashi.htm>

## O VENTO

Os engenheiros descobriram que a estabilidade aerodinâmica tem haver com o formato da estrutura, quando o vento encontra um deque com lateral plana representa um obstáculo para ele. Quando o vento atinge a lateral da ponte, o fluxo de ar é perturbado criando remoinhos acima e abaixo do deque, que por sua vez surge áreas de pressões variáveis que o puxam para cima e para baixo até a ruptura da ponte.

Com a ponte *Akashi Kaikyo* é diferente, uma solução foi criada. Um perfil mais aerodinâmico do deque iria cortar o vento sem maiores resistências acima e abaixo dele.

## FUNDAÇÕES DE PONTES E SUAS ANÁLISES

Os engenheiros sempre enfrentam grandes obstáculos logo no início de seus estudos para o início de uma obra.

Segundo Barkan (1962, p. 221):

“As pontes que tem pelo menos parte de sua extensão cruzando massas d’água, apresentam problemas especiais de execução de suas fundações. Um dos primeiros aspectos a considerar na escolha de uma fundação de uma ponte é a erosão. O projetista deve buscar informações sobre o regime do rio, como níveis d’água máximos e mínimos, velocidades máximas de escoamento etc., além da história de comportamento de fundações de outras pontes nas proximidades” (Barkan,1962, p. 221).

No caso da ponte *Akashi-Kaikyo*, foi um desafio para a engenharia, pelas severas condições naturais, algumas delas foram a profundidade, fortes correntes, mau tempo e risco de furacões e terremotos, sem falar no cuidado para a preservação das atividades de pesca existente no local e o alto nível de tráfego marítimo.

Além de tudo, a base de cálculos elaborada neste tipo de obra não pode ser somente em papéis e acreditar que o ser humano não possa errar. Portanto é feito todo um estudo, muitos cálculos, testes e aprovações de cada etapa a ser cumprida a fim de que as margens de erros sejam consideradas praticamente nulas.

O rio *Akashi* possui cerca de 60 m de profundidade. No entanto para se firmar as fundações das torres seria necessária a retirada da costumeira lama do rio antes de se encontrar terra firme o suficiente para resistir os 230 mil m<sup>3</sup> de concreto das bases. Com avanços tecnológicos, permitiu-se que enormes escavadeiras retirassem a lama do rio para a implementação de enormes caixões de concreto (Figura 3).



**Figura 3.** Caixão de concreto

IMC. (2011). Ponte Akashi-Kaikyo. Recuperado em 7 outubro, 2011, de <http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/akashi.htm>

Esses caixões de puro aço têm 70 m de altura e 80 de largura em forma circular. Cada caixão possui uma parede externa e outra interna que são ocas e formam um compartimento circular repleto de ar que o impede de afundar durante a sua locomoção. Foram construídos dois caixões, um para cada torre e a função dos caixões era levar 120.000 toneladas ao solo.

Depois de posicionado, o compartimento é inundado com água e afundado. Uma vez instalado o vão central é preenchido com concreto e expulsa a água do mar. Para a fundação dos enormes pilares foram necessários 250 mil m<sup>3</sup> de concreto. Esse concreto especial mantém a coesão (união) dentro da água e finalmente uma tampa de concreto é colocada e a fundação está terminada pronta para servir de base para a ponte. Para evitar que areia e pedregulhos trazidos pelas fortes correntes desgastassem os caixões, a base foi protegida com filtros e pedras arredondadas.

## TIPOS DE FUNDAÇÕES PROFUNDAS

Os elementos principais utilizados em fundações profundas são: a estaca, o tubulão e o caixão.

A estaca é utilizada na execução de cravação a precursão, prensagem, vibração ou por escavação ou até mesmo envolvendo mais de um destes processos, com auxílio de ferramentas ou equipamentos.

O tubulação é um elemento de forma cilíndrica que exige a descida do operário para o final de sua execução, isso é o que o difere da estaca.

O caixão foi o elemento utilizado na ponte *Akashi-Kaikyo*, como dito anteriormente, ele possui uma forma prismática, concretado em sua superfície e instalado por meios de escavação.

## AS TORRES MAIS ALTAS

Após vários estudos, os engenheiros chegaram à conclusão de que para se fazer uma torre de mais de 300 m de altura seria necessário um material mais forte e mais leve do que o concreto. Portanto, chegaram à conclusão de que placas de aço com mais de 1.500.000 parafusos formaria um pilar pouco mais leve do que o aço maciço, tornando-as mais flexíveis por serem ocas.

O Japão está situado em um lugar com maiores atividades sísmicas do mundo. A engenharia em si não perde tempo, os detalhes não passam despercebidos e nem poderia, portanto contra essa força da natureza ao construir a *Akashi* tomaram como primeira linha de defesa contra os terremotos as próprias torres. Por serem inteiramente de aço são mais flexíveis, assim, se houver um tremor elas se movem juntamente com a terra absorvendo o choque.

Em 1995, um forte terremoto pôs à prova a tecnologia da ponte. Ao fim do terremoto a ponte *Akashi Kaikyo* passou no teste da natureza, deixando como única sequela o afastamento do vão da torre de aproximadamente 1 metro de distância.

## TRELIÇAS

Segundo consta em definições do Shames (2002, p.219) a respeito do conceito de treliças. A treliça é uma solução estrutural simples, trata-se de uma estrutura de barra interconectadas, no formato de triângulo. As treliças são compostas de pequenas vigas que juntas podem suportar grande quantidade de peso e vencer as grandes distâncias, podemos dizer que se trata de um grande esqueleto. Esse sistema triângulado são estruturas compostas por elementos indeformáveis, aos quais se dá o nome de barras, ligados entre si por articulações que são verdadeiros nós. Treliça Plana é quando todos os elementos da mesma se encontram dispostos essencialmente num plano, conforme apresenta-se na Figura 4.



**Figura 4.** Treliças

Forum Live. (2011). Ponti Famosi. Recuperado em 7 outubro, 2011, de [http://www.forumlive.net/pro\\_poste/muri%20e%20ponti/pontifamosi/Akashi\\_.jpg](http://www.forumlive.net/pro_poste/muri%20e%20ponti/pontifamosi/Akashi_.jpg)

No caso da Ponte *Akashi* devido às próprias condições e característica da região já era uma preocupação. O projeto teria o desafio do clima e também no sentido de aproveitar as técnicas bem sucedidas da engenharia até os dias de hoje.

Conforme pesquisa realizada a respeito da ponte, vimos que nesta obra, a estabilidade aerodinâmica é uma característica essencial, por esse motivo, os engenheiros escolheram um tabuleiro treliçado, face proporcionar rigidez à ponte, impõe baixa resistência à passagem do vento.

Além disso, foi decidido instalar, ao longo do piso treliçado, placas estabilizadoras para direcionar o vento e, com isso, reduzir a torção do tabuleiro.

## **MATERIAIS E TECNOLOGIAS**

O material usado combinando baixo peso e grande resistência teve de ser um ferro extremamente sujeito a corrosão, entretanto os engenheiros criaram um robô capaz de identificar o início do processo de corrosão e eliminar os focos desgastados da superfície. Abaixo da ponte existem três pórticos que permitem a execução de trabalhos e manutenção da ponte sem a interrupção do tráfego.



Para aumentar a resistência dos cabos foi necessário entrelaçá-los assim como é feito com uma linha de algodão para torná-la mais resistente diferente de um 'porção' de algodão.

Os cabos da Ponte *Akashi* chegam a pesar mais de 225 mil toneladas, e isso só é possível pela tecnologia usada no entrelaçamento dos cabos que juntos tornam-se mais resistentes do que o aço.

Além disso, dentro de cada torre há uma segunda proteção, que são os amortecedores já citados anteriormente, foram instalados dentro de uma moldura no interior das torres que tem o papel de absorver o impacto do vento e de um possível terremoto que são quase constantes em territórios japoneses.

Após 10 anos de inovação e descobertas da engenharia em operação a ponte *Akashi Kaikyo* continua ser a mais longa e mais alta e ponte suspensa com maior vão do mundo (Figura 5)



**Figura 5.** Ponte Akashi-Kaikyo concluída Engenharia e Construção. (2011). Foto ponte Akashi. Recuperado em 7 outubro, 2011, de <http://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/11/ponte-akashi-kaikyo-o-maior-tabuleiro.html>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudar o processo de evolução da ponte *Akashy-kaikyo* foi um desafio para todos, aguçou o desejo de aprofundar-se mais para compreender melhor cada processo de execução, análises e desafios. A base de cálculos elaborada diante de uma obra dessas exige muito estudo e vários testes são feitos na tentativa de que as margens de erros sejam eliminadas.

Esse projeto trouxe muitos benefícios aos habitantes e esse era uns dos principais motivos para a conclusão da obra. Com a construção dessa ponte melhorou se a economia e a cultura no Japão além de ampliar os benefícios que já possuíam como a pesca e o tráfego marítimo que na região era muito intenso.

Podemos ainda dizer que a *Akashi-kaikyo* além de trazer ao mundo um exemplo de superação em relação às forças da natureza, trouxe também uma enorme conquista à engenharia, tornando-se assim uma ponte exemplo ao mundo moderno, ate mesmo por suas tecnologias que contribuíram e muito para esse avanço.

Com tudo isso, finalizamos por dizer que adquirimos uma visão mais ampla diante deste estudo, que agregou em cada um de nós uma grande visão da engenharia neste mundo em constante crescimento. Com tudo isso podemos dizer que não somente os habitantes daquela região, mas nós também saímos ganhando com essa grandiosa obra.

## REFERÊNCIAS

- Barkan, D. D. (1962), Dynamics of bases and foundations. New York:McGraw-Hill Book Inc.
- Brown, D. J. (1996). Bridges. London: Mitchell Beazley.
- Forum Live. (2011). Ponti Famosi. Recuperado em 7 outubro, 2011, de [http://www.forumlive.net/pro\\_poste/muri%20e%20ponti/pontifamosi/Akashi\\_.jpg](http://www.forumlive.net/pro_poste/muri%20e%20ponti/pontifamosi/Akashi_.jpg)
- Forum Outerspace. Terremoto Atinge o Chile. Recuperado em 7 outubro, 2011, de <http://forum.outerspace.terra.com.br/index.php?thrad/terremoto-atinge-o-chile.151215/page-2>
- IMC. (2011). Ponte Akashi-Kaikyo. Recuperado em 7 outubro, 2011, de <http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/akashi.htm>
- Shames, I. H. (2002). Estática Mecânica para Engenharia - Vol. 1 (4ª ed.). São Paulo: Pearson-Prentice Hall.
- Srinivasulu, P., & Vaidyanathan, C. V. (1976). Handbook of Machine Foundations. New Dehli: Mcgraw-Hill Publishing Co. Ltda. Retrieved march 11, 2011, from: <http://books.google.com.br/books?id=BKOpUGjHsjIC&printsec=frontcover&hl=ptBR#v=onepage&q&f=false>
- Engenharia e Construção. (2011). Foto ponte Akahsi. Recuperado em 7 outubro, 2011, de <http://www.engenhariaeconstrucao.com/2011/11/ponte-akashi-kaikyo-o-maior-tabuleiro.html>

## AKASHI - KAIKYO BRIDGE

### ABSTRACT

This article aims to highlight the Akashi Kaikyo basically stayed bridge . Considered the largest bridge with central span , being two pillars of the world , the call Akashi was developed both economic and cultural growth of Japan 's work went through several challenges due to harsh natural conditions , such as enormous depth of river water the bridge cuts , severe weather, hurricanes and earthquakes. Furthermore , we discuss the specific methods and technologies geared totally to Akashi case, for example , how was designed decks ( boards ) taking into account the aerodynamic prepared for the strong eastern winds , so both the concrete especially used in the towers , which in addition to more resists is even lighter than usual , as well as specially prepared steel towers able to withstand strong tremors or even earthquakes . Still, it will be highlighted how the towers were designed aiming not allow them to swing to the point of tipping during earthquakes and tremors install dampers . We will also see in this research study the complexity involved in the design of foundation for a steel tower 300 feet high when it comes to a build in self March As it takes the concrete and how it does not mix with water. Therefore , we will consider also the great efforts that the Japanese had for design, execution and completion of the Akashi - Kaikyo Bridge , but always emphasizing it as an amazing and gigantic feat of modern engineering.

**Keywords:** Natural Conditions; Challenge; Technology.

## PUENTE DE AKASHI KAIKYO

### RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo destacar el Akashi Kaikyo Puente básicamente quedado. Considerado el mayor puente de vano central , siendo dos pilares del mundo , la llamada Akashi se desarrolló tanto en el crecimiento económico y cultural de la obra de Japón pasó por varios desafíos debido a las duras condiciones naturales , como la enorme profundidad de agua de río los cortes de puentes, tiempo severo, huracanes y terremotos. Además , se discuten los métodos y tecnologías específicas orientadas totalmente a caso Akashi, por ejemplo, cómo se diseñó cubiertas (placas) teniendo en cuenta la aerodinámica preparados para las fuertes vientos del este , por lo tanto el hormigón especialmente utilizado en las torres , que además de más se resista es aún más ligero de lo habitual , así como torres de acero especialmente preparados capaces de soportar temblores fuertes o incluso terremotos . Sin embargo , se puso de relieve que las torres fueron diseñadas con el objetivo no les permiten girar hasta el punto de inflexión durante los terremotos y temblores instalar amortiguadores. Veremos también en este estudio de investigación la complejidad involucrada en el diseño de los cimientos de una torre de acero de 300 metros de altura cuando se trata de una estructura en sí de marzo Como se necesita el concreto y la forma en que no se mezcla con agua. Por lo tanto , vamos a considerar también el gran esfuerzo que los japoneses tenían para el diseño, la ejecución y la terminación del puente Akashi- Kaikyo , pero destacando siempre como una hazaña increíble y gigantesca de la ingeniería moderna.

**Palabras clave:** las condiciones naturales; Desafía; Tecnología.