

## **Ponte sobre o rio Kwanza, na Cangandala**



**Pedro Cabral<sup>1</sup>**



**Tiago Lamy<sup>2</sup>**



**Armando Rito<sup>3</sup>**

### **RESUMO**

A ponte sobre o rio Kwanza situa-se junto à localidade da Cangandala, província de Malange, República de Angola. Trata-se de uma ponte de arcos múltiplos em betão armado concluída em 1973. Durante os tempos de conflito vividos em Angola, a ponte sofreu múltiplos danos, nomeadamente com a destruição total de alguns dos seus arcos. De forma a restabelecer e a melhorar as condições de circulação desta travessia, o projecto aqui apresentado, preconiza a reconstrução das partes destruídas, a reabilitação integral da estrutura e o alargamento da plataforma.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Reconstrução; reabilitação; alargamento.

- 1 Armando Rito Engenharia, SA, 1600-477 Lisboa, Portugal. [Pedro.Cabral@arito.com.pt](mailto:Pedro.Cabral@arito.com.pt)
- 2 Armando Rito Engenharia, SA, 1600-477 Lisboa, Portugal. [Tiago.Lamy@arito.com.pt](mailto:Tiago.Lamy@arito.com.pt)
- 3 Armando Rito Engenharia, SA, 1600-477 Lisboa, Portugal. [Armando.Rito@arito.com.pt](mailto:Armando.Rito@arito.com.pt)

## **1. INTRODUÇÃO**

A presente comunicação refere-se ao Projecto de Reabilitação da Ponte sobre o Rio Kwanza, situada junto da localidade da Cangandala, na estrada que liga Malange a Mussende, província de Malange, República de Angola.

A autoria do projecto original é desconhecida. Segundo se apurou, a ponte entrou em serviço em 1973, sendo que em 1976 foi destruído um troço de ponte, correspondente a dois dos arcos, tendo posteriormente sido restabelecida a circulação através de uma estrutura metálica provisória assente nos pilares que davam apoio aos arcos existentes. Mais tarde, em 1992, a ponte voltaria a ser destruída, desta vez em duas partes, junto ao encontro norte e na estrutura metálica que tinha sido entretanto colocada.

Uma vez que se trata de uma estrutura que imprime uma marca indelével na paisagem local entendeu o Instituto Nacional de Estradas de Angola (INEA) que existiam fortes razões para preservar a obra e, consequentemente, restabelecê-la com a sua configuração original.

Os trabalhos de reabilitação previstos visam essencialmente a reconstrução das zonas destruídas, a reparação geral da obra e ainda todos os trabalhos necessários para a reposição das linhas originais da estrutura, garantindo assim a sua conservação e uma maior longevidade. Para além destes trabalhos, preconizou-se também a execução de uma laje em betão armado, assente sobre os solos de enchimento entre tímpanos, que permitirá o alargamento da plataforma, melhorando assim as condições de circulação automóvel.

## **2. DESCRIÇÃO DA OBRA E ESTADO DE CONSERVAÇÃO**

### **2.1. Descrição da obra**

A ponte em causa é uma estrutura em arcos múltiplos com um comprimento total de cerca de 308 metros entre as extremidades dos encontros.

A estrutura é constituída por 15 arcos de betão armado com comprimentos diferenciados, apoiados sobre pilares em pedra dotados de formas hidrodinâmicas. Presume-se que estes pilares assentem directamente no leito do rio, não tendo sido possível, durante a execução do projecto, efectuar qualquer observação às fundações dado o elevado nível das águas durante as inspecções e a inexistência de meios para acesso.

O arco maior tem uma extensão de cerca de 31,90 metros, tendo os restantes 14 arcos comprimentos de 18,80 metros (8 arcos) e 18,10 metros (6 arcos).



Figura 1. Vista geral da Ponte

Sobre os arcos apoiam os tímpanos em betão simples e betão ciclópico, entre os quais foram colocados solos compactados que servem de base ao pavimento.

A plataforma da ponte existente é constituída por uma faixa de rodagem com 6,10 metros, dois passeios com 0,70 metros e guarda corpos com 0,30 metros perfazendo uma largura total de 8,10 metros.

Os encontros são constituídos por muros de avenida em betão ciclópico, revestidos com argamassa, e têm um comprimento de cerca de 8,70 metros.

## **2.2. Estado de conservação**

As principais patologias identificadas nos relatórios de inspeção realizados pelo Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ) em Abril e Novembro de 2006, prendem-se com:

- Destruição total de cinco arcos correntes e do arco de maiores dimensões;



Figura 2. Arco corrente A4

- Fissuras longitudinais e transversais significativas em alguns arcos;
- Fissuras de diferentes magnitudes ao nível dos pilares;



Figura 3. Pilar P10

- Destruição total do pilar P3;
- Sinais de infraescavação em alguns pilares e muros dos encontros;
- Guarda corpos parcialmente destruído ou inexistente.



Figura 4. Guarda corpos

### **3. MEDIDAS DE RECONSTRUÇÃO E REPARAÇÃO PROPOSTAS**

Como já foi mencionado, o Projecto a que se refere a presente comunicação, inclui a reconstrução das partes destruídas, a reabilitação integral da estrutura e o alargamento da plataforma. Assim, foram preconizados os seguintes trabalhos:

- Inspeção detalhada ao estado de conservação da obra e levantamento de pormenor;
- Reconstrução das partes destruídas da ponte – pilares, arcos e tímpanos;
- Reforço dos pilares a conservar;
- Protecção das fundações;
- Alargamento da plataforma do tabuleiro;
- Reconstrução dos guarda corpos e vigas de bordadura;
- Trabalhos de acabamentos finais.

#### **3.1. Inspeção Detalhada ao Estado de Conservação da Obra e Levantamento de Pormenor**

Antes do início dos trabalhos, será levada a cabo uma inspeção detalhada ao estado de conservação dos arcos, encontros e pilares, com o objectivo de complementar e aprofundar a informação recolhida nas inspecções realizadas, e que incluirá a detecção e mapeamento detalhado de anomalias.

De forma a verificar o tipo de fundação, o seu estado e ainda eventuais infraescavações será feita uma inspeção subaquática às fundações dos pilares.

#### **3.2. Reconstrução das Partes Destruídas da Ponte**

Após a demolição das zonas degradadas adjacentes às zonas destruídas, proceder-se-á à reconstrução dos novos pilares, arcos e tímpanos, de acordo com o faseamento construtivo preconizado.

Relativamente à reconstrução dos arcos procurou manter-se a configuração original dos arcos correntes. A geometria do arco de maiores dimensões foi ligeiramente ajustada de forma a minimizar esforços de flexão. Para o conseguir adoptou-se uma geometria parabólica que, para cargas permanentes, é coincidente com a linha de pressões. Tal foi feito sem alterar a flecha e o vão do arco original e sem comprometer de forma alguma a sua estética.

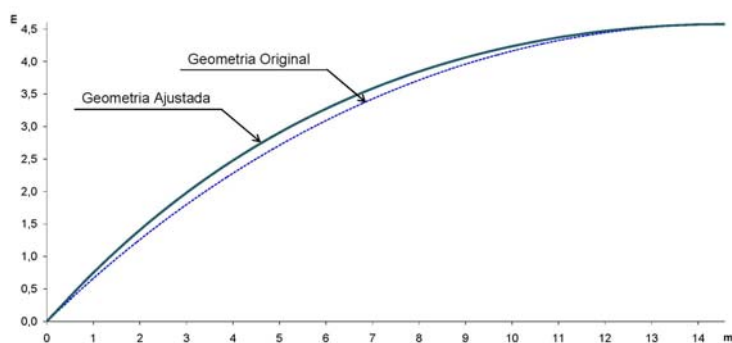


Figura 5. Ajuste de geometria do arco principal

Como se pode deduzir pela observação da Figura 5, o ajuste de geometria do arco principal permitiu reduzir de forma significativa, a armadura longitudinal, sobretudo na zona das nascenças.

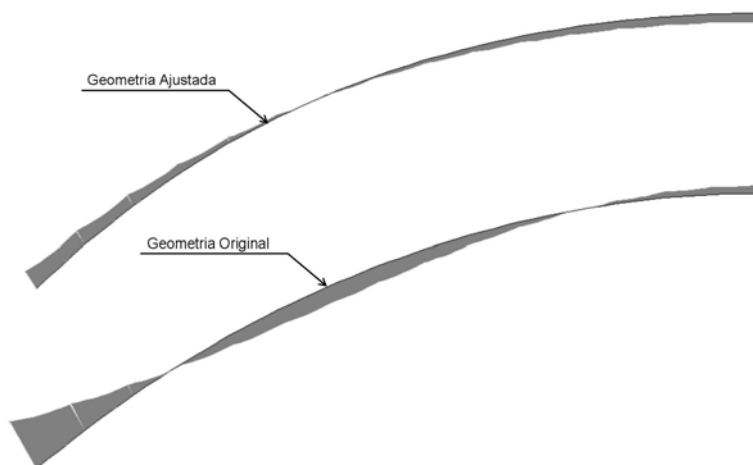


Figura 6. Modelo plano para aferição da nova geometria do arco principal – Momentos flectores longitudinais

Quanto aos pilares a reconstruir, estes apresentam dimensões em planta consideráveis pelo que foram exigidos cuidados especiais durante a cura dos mesmos, de forma a minimizar as tensões internas geradas pelos gradientes térmicos que ocorrem aquando das reacções de hidratação.

### **3.3. Reforço dos Pilares**

Inicialmente a solução de reforço proposta para os pilares consistia, essencialmente, na cintagem destes através de cabos e barras de pré-esforço. Os cabos de pré-esforço, colocados em torno destes elementos estruturais, gerariam forças de desvio na zona curva. As barras seriam responsáveis por comprimir os pilares na direcção transversal.

Como muitas vezes ocorre durante a construção e reabilitação de pontes em Angola, por escassez de meios, houve a necessidade de adoptar uma solução alternativa para o reforço dos pilares.

Tal solução consiste na colocação de um colar de betão, em torno de cada pilar, com 25 cm de espessura e devidamente apertado contra estes através de varões roscados.



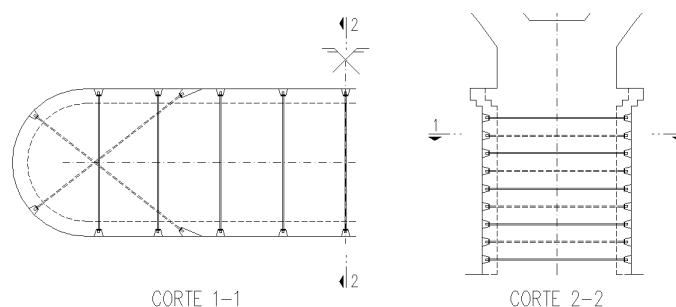


Figura 7. Reforço dos pilares – Solução alternativa adoptada

Sendo assim, enquanto que na solução inicial o acréscimo de resistência dos pilares era garantido à custa de instalar nestes um estado de tensão tri-axial por meio de forças essencialmente activas, na solução alternativa, com o aumento da área útil dos pilares, a resistência é aumentada sobretudo de forma passiva. Os varões roscados têm como objectivo principal solidarizar, por atrito, o colar de betão ao pilar. Tal função é essencial para assegurar a eficácia da nova solução.

De forma a garantir homogeneidade da sua geometria, todos os pilares a conservar serão dotados com o mesmo tipo de reforço, sendo que a cofragem a utilizar para a execução do colar de reforço irá permitir manter a estereotopia original dos apoios.

### 3.4. Protecção das Fundações

Nos casos em que se revelar necessário, a protecção das fundações consistirá no preenchimento das zonas a descoberto com um betão ciclópico, cobertura das sapatas e respectiva envolvente com uma manta geotêxtil e posterior execução de um enrocamento argamassado.

### 3.5. Alargamento da Plataforma do Tabuleiro

A nova laje do tabuleiro terá uma largura total de 10,20 metros e comportará uma faixa de rodagem com 7,20 metros de largura com dois sentidos de circulação, e passeios com 1,50 metros de largura.

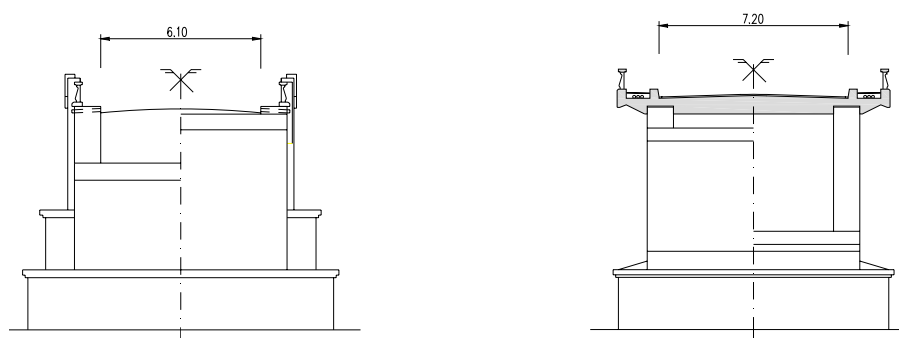


Figura 8. Corte transversal actual e após recuperação

De forma a evitar transmissão de cargas rodoviárias aos tímpanos, elementos de rigidez muito superior aos solos de enchimento, foi deixado entre estes últimos e as consolas da plataforma um espaço preenchido por 4cm de madeira de pinho colada a 4cm de aglomerado de cortiça. Esta solução, simples mas de extrema importância, possibilita uma correcta distribuição dos esforços ao extradorso dos arcos permitindo que estes sejam comprimidos em toda a sua largura e não apenas nos bordos exteriores, o que poderia por em risco a superestrutura.

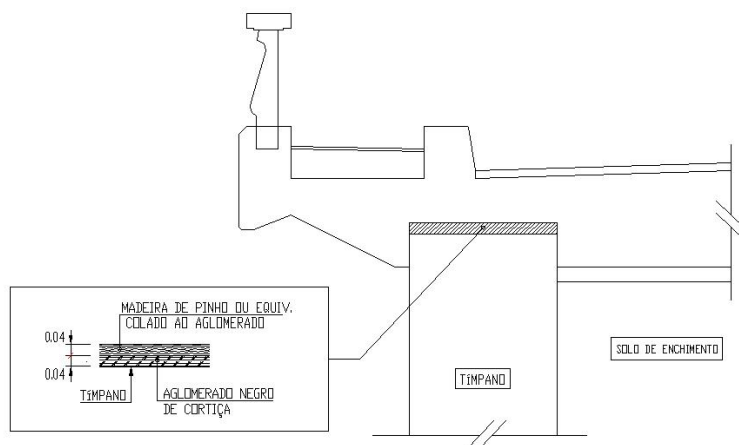


Figura 9. Pormenor da zona de contacto da laje no tímpano

O facto de se ter adoptado uma laje de rigidez considerável tem duas vantagens importantes. Primeiro porque possibilita uma significativa distribuição local das cargas rolantes. Depois, caso existam heterogeneidades nos terrenos de enchimento resultantes de uma deficiente compactação dos solos de enchimento, a laje é suficientemente rígida para que as deformações daí resultantes não ponham em causa o bom nivelamento da plataforma.

É de salientar, que com este tipo de alargamento, o aumento de cargas de natureza simétrica e permanente traz um acréscimo de carga axial de baixa excentricidade o que, salvo em betões de baixa resistência, incrementa substancialmente a capacidade de carga do arco.

Em termos construtivos a solução de alargamento preconizada é relativamente simples. Após os trabalhos de reconstrução dos arcos destruídos e a reabilitação dos existentes, seguir-se-ão as seguintes etapas:

- Demolição dos guarda-corpos ainda existentes;
- Construção de travamentos de segurança, em betão armado, contra o derrubamento dos tímpanos;
- Colocação / adição de terras de enchimento, constituídas por solos arenosos devidamente compactados, até ao nível especificado no projecto;
- Aplicação sobre as terras de enchimento de uma camada de betão pobre de forma a regularizar a superfície de apoio da laje;
- Colocação do isolamento estrutural no topo dos tímpanos;
- Montagem das cofragens e armaduras da laje;
- Betonagem “*in situ*” da laje.

### 3.6. Reconstrução dos guarda-corpos e vigas de bordadura

A reconstrução destes elementos é feita mantendo uma geometria idêntica à dos existentes. Quer as vigas de bordadura quer os guarda-corpos foram pensados para serem executados com recurso à pré-fabricação.

### 3.7. Trabalhos de Acabamentos Finais

Depois de executados todos os trabalhos de reconstrução, reforço e reparação, toda a superfície das paredes exteriores dos tímpanos, será decapada e picada, de forma a prepará-la para a aplicação de uma camada de reboco armado e, assim, regularizar os paramentos de toda a estrutura.

## 4. ANÁLISE ESTRUTURAL

Neste ponto faz-se uma breve discussão acerca das análises estruturais realizadas nos arcos e na laje do tabuleiro por estes serem os objectos centrais do projecto aqui apresentado.

Para a quantificação de acções e respectivas combinações foi utilizado o “*Code of practice for the design of Road Bridges and Culverts*” do SATCC - *Southern African Transport and Communications Commission*. Para a verificação da segurança dos elementos estruturais recorreu-se ao EC2 - *Eurocódigo 2: Projecto de Estruturas de Betão*.

### 4.1. Arcos

Como se sabe o arco é a forma estruturalmente ideal para vencer vãos quando o material utilizado para tal funciona basicamente à compressão. A sua geometria pode inclusivamente ser optimizada, através da determinação da linha de pressões para um dado carregamento para que o fluxo de forças seja mais eficiente. Tal foi feito para o arco principal como já mencionado no ponto 3.2.

Contudo, numa ponte deste género, o funcionamento real do conjunto *arco – solo de enchimento – tímpanos* envolve inúmeras variáveis entre as quais algumas de difícil quantificação como o grau de fissuração dos tímpanos, o grau de encastramento nos pilares, a forma de dispersão das cargas rolantes e todos os parâmetros necessários ao cálculo da reacção dos solos de enchimento nas chamadas zonas passivas.

É certo que a evolução dos programas de cálculo permitiria aumentar o grau de complexidade dos modelos estruturais de forma a fazermos intervir quase todos os parâmetros envolvidos no funcionamento das nossas estruturas. Mas como se sabe, engenharia não é igual a ciência. Os engenheiros para terem confiança nas estruturas que concebem ou reabilitam tem sempre que proceder a simplificações conservativas, sendo que há certos aspectos no funcionamento das estruturas que podem e devem ser tidos como níveis de segurança adicionais não quantificáveis.

Tipicamente os modelos dos arcos são planos. Considerou-se contudo importante usar modelos tridimensionais para analisar os arcos de forma a ter em conta que estes não são carregados de forma homogénea ao longo da sua largura (figura 10), captar os efeitos de canto gerados por acções impostas e ainda avaliar a influência dos tímpanos no conjunto.

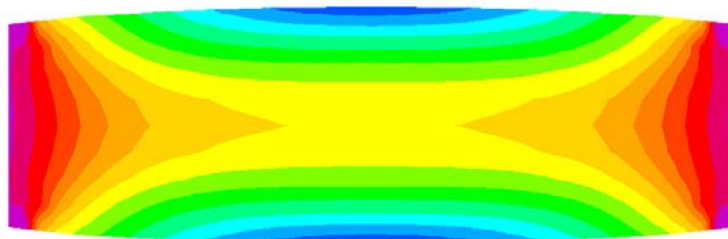


Figura 10. Diagrama de esforços axiais devidos carga permanente no arco principal.

Tanto os tímpanos como o enchimento intervêm na deformabilidade do arco.



Os tímpanos foram modelados através do uso de molas de compressão cuja rigidez elástica foi devidamente aferida. Por ser difícil quantificar o seu nível de fissuração e este não ser de todo homogéneo ao longo da ponte, procedeu-se a uma análise de sensibilidade do arco com e sem as referidas molas, tendo-se chegado, obviamente, à conclusão que os tímpanos conferem ao arco um nível de confinamento elevado. Desta forma, na verificação de segurança dos arcos existentes, não se teve em consideração a rigidez dos tímpanos. Nos arcos a reconstruir a sua influência foi ponderada com alguma cautela considerando uma rigidez reduzida para estes elementos. É curioso observar que, no passado, em algumas pontes deste tipo, os tímpanos eram dotados de juntas de dilatação em “zig-zag” na zona das nascenças e no fecho, para que a influência deste tipo de elementos na deformação do arco fosse desprezável.

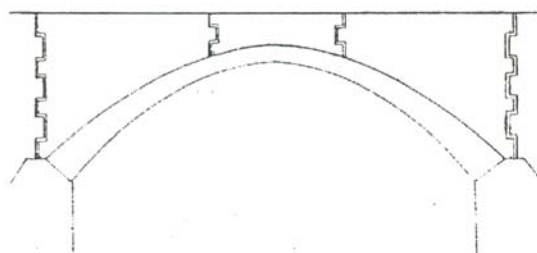


Figura 11. Juntas de dilatação em “zig-zag” [1]

No que diz respeito ao contributo das terras de enchimento, dada a variabilidade dos parâmetros que influenciam a reacção dos solos nas zonas passivas e devido ao facto que, geralmente, mesmo para solos bem compactos, estas não absorverem energia de deformação significativa quando comparados com os tímpanos, optou-se por desprezar o seu contributo para a rigidez do conjunto.

Para a avaliação da capacidade de carga dos arcos existentes fizeram-se várias análises elásticas do tipo “upper bound” e “lower bound”, considerando dois cenários distintos para o módulo de elasticidade, de forma a expressar o maior ou menor grau de endurecimento / fissuração, e dois cenários distintos para o apoio dos arcos nos pilares: encastrado e rotulado.

Chegou-se à conclusão que os arcos correntes possuíam capacidade de carga suficiente face às cargas regulamentares utilizadas, necessitando-se apenas, de forma a satisfazer o estado limite de largura de fendas, de repor o monolitismo através da injeção das fissuras.

#### **4.2. Laje**

Para efeitos de modelação, a laje do tabuleiro é um elemento de inércia constante que descarrega no arco através do enchimento. Uma vez que se trata de um elemento em meio elástico foi importante considerar a rigidez do arco em série com a rigidez das terras de enchimento. Face à incerteza do módulo de elasticidade que este virá a apresentar, adoptou-se, pelo lado da segurança, o módulo de elasticidade de uma areia pouco compactada.

Nesta análise foi simulado o confinamento proporcionado pelos tímpanos a movimentos ascendentes, através do uso das molas já referidas no ponto anterior. As condições fronteira na laje foram avaliadas de, forma conservativa, em função da posição do carregamento.

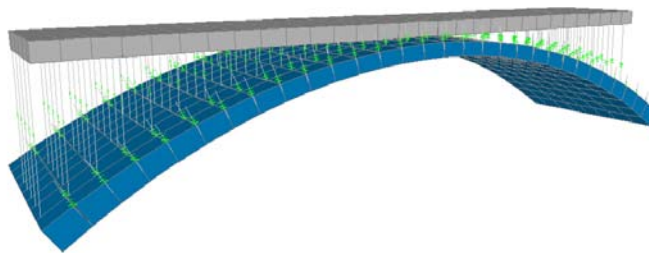


Figura 12 – Modelo de cálculo tridimensional

A principal preocupação no dimensionamento deste elemento prendeu-se sobretudo com a limitação dos deslocamentos provocados pelas sobrecargas rodoviárias numa situação de baixa rigidez das terras de enchimento. A verificação deste estado limite de serviço deu-se por satisfeita uma vez que se chegou a um rácio vão efectivo/deslocamento superior a 2000.

## **5. CONCLUSÃO**

A reconstrução e a reabilitação da ponte irá certamente obrigar a um acompanhamento efectivo dos trabalhos de modo a adoptar ou complementar as soluções do projecto às reais condições que forem sendo apuradas em obra. Só desta forma se poderá garantir os níveis de segurança e comodidade, roviarios e pedonais, adequados.

Terminado o restabelecimento desta travessia sobre o rio Kwanza, a ligação entre Malange e o interior centro e sul de Angola fica facilitada, contribuindo assim para o bem estar das populações e para o desenvolvimento económico do País.

## **REFERÊNCIAS**

- [1] Apontamentos da Cadeira de Pontes do IST – Lições do Prof. Edgar Cardoso, 1959. Lisboa.
- [2] MENN, C. – Prestressed Concrete Bridges – Birkhauser, 1990. Berlim.
- [3] KUMAR, P; BHANDARI N, M. – Mechanism based assessment of masonry arch bridges. Structural Engineering International number 3/2006. 226-233p.
- [4] HARVEY, B; KUMAR, P; BHANDARI N, M. – SEI Discussion on Mechanism based assessment of masonry arch bridges. Structural Engineering International number 1/2007. 97-99p.
- [5] SOBRINO, J.A. – Extending the Life of Masonry and Concrete Arch Bridges. Structural Engineering International number 4/2007. 328-336p.