

**Standardização e Modularização dos Cilindros Hidráulicos das
Quinadoras**

Empresa ADIRA S.A.

João Pedro Rodrigues Pereira dos Reis

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na ADIRA S.A. Engenheiro Tiago Faro

Orientador na FEUP: Prof. Ana Reis



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Janeiro 2010

Aos meus pais e irmão

Resumo

As quinadoras hidráulicas são máquinas para conformação de chapa, estas máquinas são um dos principais produtos da Adira constituídas por um elevado número de componentes nas mais variadas gamas e modelos. Este projecto insere-se num processo de modularização e standardização a decorrer na empresa e aborda um dos componentes fundamentais das quinadoras que são os cilindros hidráulicos

Actualmente as quinadoras produzidas na Adira têm um cilindro específico para cada força de quinagem e para cada modelo, sendo por isso necessário reduzir a variedade de componentes otimizando a sua relação funcional a standardização através de uma configuração restrita dentro determinadas opções com vista à modularização.

Fez-se uma abordagem teórica para o dimensionamento mecânico do modelo actual dos cilindros hidráulicos e quais os princípios a ter em conta para um funcionamento eficiente para o desenvolvimento de um novo modelo capaz de garantir os requisitos mínimos dum bom desempenho e que permitisse standardizar e modularizar os diferentes componentes para uma gama mais abrangente possível. Chegou-se a uma novo modelo para os cilindros, em que seria possível standardizar a tampa superior e inferior e modularizar um corpo cilíndrico intermédio entre estas conforme o curso de máquina pretendido. Para validar este modelo foi feito um cálculo estrutural por elementos finitos, assim como uma estimativa para o custo do processo industrial em comparação com o modelo actual.

Além deste modelo foi feito um estudo baseado no conceito actual para uma nova geometria de hastes, passando este conjunto a ser constituído por dois subconjuntos a haste e o êmbolo, igualmente foi feito um dimensionamento na tentativa de aproximar o conjunto para mais do que uma gama de quinagem e uma estimativa da viabilidade económica tendo em conta a procura no mercado das quinadoras. Paralelamente a este desenvolvimento das hastes foi feita uma nova modelação do corpo do cilindro e da tampa do cilindro.

Conclui-se que esta última proposta desenvolvida para as hastes, corpo do cilindro e tampa do cilindro pode ser do ponto de vista da standarização e modularização uma solução a ser implementada na empresa, trazendo benefícios económicos.

Palavras-chave: standardização, modularização, quinadora, cilindro hidráulico

Standardization and Modularization of Hydraulic Cylinders of press brakes

Abstract

The hydraulic press brakes are machines for sheet metal forming, these machines are one of the main products of Adira with a large number of components in various ranges and models. This project is part of a process of modularization and standardization to be held in the company and addresses a fundamental component of the brakes are hydraulic cylinders.

Currently the press brakes produced in ADIRA has a specific cylinder for each force and bending for each model, and therefore reduce the variety of components optimizing their functional relationship – standardization through a restricted within certain configuration options – modularization.

There was a theoretical approach to the mechanical design of the current model of hydraulic cylinders and on the principles to be considered for an efficient operation for the development of a new model that will guarantee the minimum requirements of a good performance and allowing standardize and modularize the different components to a broader range possible. It reached a new model for the cylinder; it might be possible standardize the top and bottom covers and modularize a cylindrical body intermediate between the latter courses as the machine you want. To validate this model calculation was performed structural finite elements, as well as an estimate cost of the manufacturing process compared with the current model.

In this model a study was done based on the current concept to a new geometry of stems, from this set to consist of two sub-piston rod and also has done a design in an attempt to bring the whole to more than one range bending and an estimate of the economic viability given the market demand for the brakes. Parallel to this development of the rods was a new modeling of the cylinder body and cylinder cover.

We conclude that the latter developed for rods, cylinder body and cylinder cover can be in terms of modularization and standardization a solution to be implemented in the company, bringing economic benefits.

Keywords: standardization, modularization, press brake, hydraulic cylinders

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos ao Eng. Tiago Faro e ao Sr. Alves por me terem recebido e orientado da melhor forma na ADIRA. O seu apoio foi fundamental na concretização do projecto.

Agradeço à Eng. Ana Reis pela disponibilidade demonstrada e pelo aconselhamento dado ao longo do projecto.

Por fim, um agradecimento aos companheiros de faculdade Cristiano Amaro, João Guimarães, Pedro Espinheira Rio, Pedro Fernandes, Paulo Pesqueira e Rui Pereira. Sem eles o meu percurso académico não teria sido o mesmo.

Índice

1	Introdução	1
1.1	A empresa ADIRA S.A.....	1
1.2	O Projecto na ADIRA	2
1.3	Desenvolvimento e objectivos do Projecto.....	3
1.4	Organização e temas abordados no relatório	4
2	Quinagem e Quinadoras Hidráulicas	5
2.1	Quinagem	5
2.2	Quinadoras Hidráulicas.....	10
2.3	Gama de Quinadoras ADIRA	13
3	Estado da arte do modelo actual dos cilindros hidráulicos das quinadoras	15
3.1	Standardização e Modularização	15
3.1.1	Conceito de modularização.....	17
3.1.2	Modularização no projecto de máquinas ferramenta.....	19
3.2	Standardização e Modularização na ADIRA	21
3.3	Distribuição de vendas das quinadoras Adira	23
3.4	Funcionamento dos Cilindros Actuais	26
3.5	Dimensionamento Mecânico.....	29
4	Desenvolvimento de um novo cilindro hidráulico.....	34
4.1	Desenvolvimento do produto	34
4.1.1	Desenvolvimento específico para os cilindros hidráulicos.....	36
4.2	Gama de quinadoras a abranger	39
4.3	Princípio de funcionamento do novo modelo	42
4.3.1	Dimensionamento dos Parafusos de Amarração ao Montante	44
4.3.2	Dimensionamento dos tirantes.....	46
4.3.3	Cálculo Estrutural da nova proposta de cilindros hidráulicos	49
4.3.4	Cálculo estrutural do modelo actual de cilindros hidráulicos.....	55
4.3.5	Análise de Custos do novo modelo	60
5	Nova proposta de cilindros hidráulicos baseado no conceito actual.....	65
5.1	Nova geometria das hastes.....	65
5.1.1	Análise de Custos	72
5.2	Nova geometria do corpo dos cilindros hidráulicos.....	76
6	Conclusão.....	79
7	Referências e Bibliografia	81
8	ANEXO A: Características técnicas das gamas de quinadoras e ficha técnica de Quinagem.....	83
9	Anexo B- Desenhos 2D dos Cilindros hidráulicos das Quinadoras	87

Índice de Figuras

Figura 1-Centro de corte laser com sistema automático de carregamento e descarregamento de chapa e Quinadora hidráulica com robot.....	2
Figura 2- Quinagem a fundo.....	6
Figura 3-Quinagem no ar.....	6
Figura 4-Quinagem e seus parâmetros principais	7
Figura 5- A- largura da cava; E- Matriz; D- Punção; I- Porta punções; H- Altura da cava	9
Figura 6-Quinadora hidráulica ascendente ADIRA	10
Figura 7-Quinadora QIHD Adira curso descendente	12
Figura 8- Esquema dos principais tipos de modelo de quinadora ADIRA	14
Figura 9-Etapas principais da standardização	15
Figura 10- Independência funcional e independência física dos componentes considerando arquitectura modular e integral.....	17
Figura 11-Metodologia para uma reconfiguração modular.....	20
Figura 12-Ciclo de vida dum produto enquadrado nas diferentes áreas de uma empresa, podendo ser aplicado para o caso duma quinadora (Karl T.Ulrich, 2004, Product Design and Development)	21
Figura 13-Gamas estudadas no âmbito da standarização e modularização.....	24
Figura 14-Modelo Actual dos cilindros hidráulicos duma QIHD-11030 visto em corte	26
Figura 15- Localização dos cilindros hidráulicos numa quinadora QIHD	28
Figura 16-Vista frontal e lateral da montagem do cilindro numa quinadora.....	28
Figura 17-Diagrama das tensões tangencial e radial num cilindro sujeito a uma pressão	32
Figura 18-Etapas de desenvolvimento e concepção dum novo modelo.....	34
Figura 19-Seis fases de desenvolvimento generalizado dum novo produto (Karl T.Ulrich, 2004, Product Design and Development).....	35
Figura 20-cilindros fabricados pela Vega (italiana)	37
Figura 21-Esquema da metodologia seguida no novo modelo dos cilindros hidráulicos das quinadoras.....	38
Figura 22-Standardização da Tampa Inferior e Superior e Modularização do Corpo do Cilindro.....	39
Figura 23-Vista em corte do novo modelo para uma quinadora de 110 toneladas	42
Figura 24-Comparação da geometria do novo modelo com o modelo actual	43
Figura 25-Representação genérica das ligações aparafusadas de um cilindro hidráulico.....	44
Figura 26-Tirantes à tracção	46
Figura 27-Consideração de uma viga com dois apoios simples na tampa superior do cilindro	47

Figura 28-Malha tetraédrica	49
Figura 29-Dimensões do cilindro para uma QIHD-11030 para o novo modelo e o usado actualmente	50
Figura 30-Condições fronteiras usadas na simulação para uma QIHD-11030	51
Figura 31-Cilindro Hidráulico com uma malha de 15 mm	51
Figura 32-Tensões Von Mises no Cilindro Hidráulico para uma QIHD-11030	52
Figura 33- Deslocamentos no eixo dos zz direcção de movimento da haste	53
Figura 34-Condições fronteiras usadas na simulação no modelo actual dos cilindros para uma QIHD-11030.....	55
Figura 35-Malha de 15 mm na simulação estrutural de um cilindro usando actualmente numa QIHD-11030.....	56
Figura 36-Tensões Von Mises no modelo actual dum cilindro hidráulico para uma QIHD-11030	56
Figura 37- Volume do cilindro sujeito a uma tensão superior a 120 MPa	57
Figura 38- Deslocamentos no eixo dos yy na direcção de movimento da haste	58
Figura 39-Standardização das hastes para as QIHD-PM-11030 e QIHD-PM-16030	67
Figura 40-Nova proposta de haste fixa por intermédio de parafusos no Solid Edge	68
Figura 41-Esquema da 1ªetapa de standarização para as hastes dos cilindros	69
Figura 42- Esquema da 2ªetapa de modularização para as hastes dos cilindros.....	69
Figura 43-Esquema da implicação da standarização das hastes para quinadoras de 110 e 160 toneladas	71
Figura 44-Nova geometria de cilindros para QIHD-16030, QIHD-11030, PM-16030 e PM-11030	76
Figura 45-Ficha Técnica de Quinagem ADIRA.....	86
Figura 46- Desenho 2D do modelo actual dum cilindro hidráulico usado numa QIHD-11030	88
Figura 47- Desenho 2D do primeiro modelo desenvolvido dum cilindro hidráulico usado numa QIHD-11030.....	88

Índice de Tabelas

Tabela 1-Dimensões de êmbolo e haste consoante a capacidade da máquina	29
Tabela 2-Espessuras, Tensão e Deformação circunferencial nas paredes dos cilindros para diferentes forças.....	31
Tabela 3- Tensão tangencial, deslocamento tangencial e longitudinal pela teoria de tensões em cilindros	33
Tabela 4-Dimensões 1ª iteração	40
Tabela 5-Dimensões 2ª iteração	41
Tabela 6-Cálculo de parafusos de amarração para QIHD-11030.....	45
Tabela 7-Valores dos diâmetros dos tirantes considerando forças de 50 e 110 toneladas	48
Tabela 8-Valores dos diâmetros dos tirantes considerando forças de 160 e 220 toneladas	48
Tabela 9-Características do material seleccionado no Cosmos.....	50
Tabela 10-Processo de fabrico para o corpo do cilindro duma QIHD-11030.....	60
Tabela 11-Processo de fabrico para a tampa do cilindro duma QIHD-11030.....	60
Tabela 12-Processo de fabrico para a haste do cilindro duma QIHD-11030	61
Tabela 13-Custos materiais dos principais componentes do cilindro duma QIHD-11030	61
Tabela 14- Processo de fabrico para o corpo do cilindro do novo modelo para uma QIHD-11030	62
Tabela 15- Custos gerais do novo corpo do cilindro	62
Tabela 16- Processo de fabrico para a tampa superior cilindro do novo modelo para uma QIHD-11030.....	62
Tabela 17- Processo de fabrico para a tampa inferior cilindro do novo modelo para uma QIHD-11030.....	63
Tabela 18- Custos gerais da nova tampa inferior do cilindro.....	63
Tabela 19-Custos materiais para os novos componentes do cilindro hidráulico.....	63
Tabela 20-Custos gerais do novo cilindro hidráulico e diferença para o modelo anterior.....	63
Tabela 21-Características principais considerando um diâmetro de êmbolo e haste de 185 e 175 mm.....	66
Tabela 22- Características principais considerando um diâmetro de êmbolo e haste com os valores usados actualmente nas QIHD-PM-11030 e QIHD-PM-16030	66
Tabela 23 – Espessura, tensão e deformação circunferencial para proposta de standarização da QIHD-11030 e QIHD-16030.....	70

Tabela 24-Valores de tempos e custos de operação para modelo de haste actual nas 160 toneladas	72
Tabela 25- Custos material para modelo actual de haste nas 160 toneladas	72
Tabela 26-Valores de tempos e custos de operação para novo modelo de êmbolo igual para 110 e 160 toneladas	73
Tabela 27- Custos materiais do novo êmbolo	73
Tabela 28- Valores de tempos e custos de operação para novo modelo de haste igual para 110 e 160 toneladas	73
Tabela 29- Custos materiais da nova haste.....	73
Tabela 30-Custo geral do novo modelo de hastes e comparação com o modelo actual usados nas QIHD-PM-160	74
Tabela 31-Número de máquinas vendidas em 2009 nas diferentes gamas	74
Tabela 32- Características principais considerando êmbolo e haste de 190mm e 180 mm respectivamente para QIHD-PM-110 toneladas.....	77
Tabela 33-Estimativa de custo dos componentes do novo modelo.....	77
Tabela 34- Custo Actual dos diversos componentes paras as 110 toneladas e 160 toneladas e comparação com o novo modelo	78
Tabela 35- Características Técnicas para Quinadoras da gama QIH	84
Tabela 36- Características Técnicas para Quinadoras da gama QIHF	84
Tabela 37- Características Técnicas para Quinadoras da gama QIHD	85
Tabela 38- Características Técnicas para Quinadoras da gama PM.....	85

Índice de Gráficos

Gráfico 1- tensão vs deformação	5
Gráfico 2-Variação do raio mínimo sobre a espessura com diminuição da secção, num ensaio de tracção.....	7
Gráfico 4- Custos de complexidade e como se dividem nas diferentes áreas de intervenção..	22
Gráfico 5-Distribuição Vendas 2009. Máquinas especiais incluindo a gama QIH e QIHF.....	23
Gráfico 6-Distribuição Vendas 2009. Máquinas da gama PM e QIHD	23
Gráfico 7- Percentagem no custo final dos diferentes componentes para uma PM-11030.....	25
Gráfico 8- Percentagem no custo final dos diferentes componentes para uma QIHD-11030..	25
Gráfico 9-Valores das tensões de Von Mises ao longo do comprimento da tampa na zona do batente com o montante	52
Gráfico 10- Valores das Tensões ao longo do comprimento dos tirantes	53
Gráfico 11-Valores do deslocamento na zona da tampa superior em contacto com os tirantes e corpo do cilindro.....	54
Gráfico 12- Valores das tensões de Von Mises ao longo do comprimento do corpo na zona do batente com o montante.....	57
Gráfico 13-Valores para o deslocamento na face superior do corpo na direcção de movimento da haste	59
Gráfico 14-Percentagens das diferentes máquinas vendidas em 2009 para QIHF-11030,PM e QIHD.	Erro! Marcador não definido.

Glossário

Benchmarking – processo de comparação e pesquisa de um determinado produto em relação a outros tendo em conta o custo, tempo de ciclo e produtividade.

Cilindro hidráulico – Actuadores que transformam potência hidráulica em potencia mecânica sob a forma de uma força e velocidade linear, sendo um sistema hidráulico concebido para determinada solução de movimento de uma carga.

Modularização – design de engenharia que divide um determinado produto em partes menores (módulos) independentes entre si que podem ser integrado num em diferentes sistemas conduzindo a múltiplas funcionalidades.

Pensamento lean – Conjunto de conceitos e princípios que tem como objectivo simplificar o modo como uma empresa produz eliminando todos os desperdícios

Quinagem - processo de deformação plástica de chapa que permite o fabrico de peça planificáveis de geometria cilíndrica, cónica ou prismática.

Quinadora - máquina ferramenta utilizada para realizar operações de quinagem, com princípio de funcionamento muito semelhante ao de uma prensa mecânica ou hidráulica com movimento rectilíneo ou rotativo.

Standardização – Optimiza a relação funcional e física entre conjuntos/subconjuntos reduzindo a variedade de componentes e variantes dos mesmos utilizados em cada modelo

1 Introdução

1.1 A empresa ADIRA S.A.

O projecto foi desenvolvido na empresa ADIRA S.A. A empresa foi fundada em 1956 por António Dias Ramos, sendo a sua área de negócio a concepção, produção e comercialização de máquinas de corte e dobragem de chapa.

Ao longo dos seus 53 anos de história a ADIRA S.A. destacou-se pela constante pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, através da sua cooperação com universidade e centros tecnológicos de desenvolvimento (INEGI), permitindo assim aos utilizadores das suas máquinas dispor de um elevado grau de tecnologia, desempenho, qualidade e fiabilidade, apoiado num constante acompanhamento pós-venda.

A empresa actualmente com cerca de 10.000 m² é constituída por um pavilhão fabril, um pavilhão para a montagem e um edifício para os serviços técnicos e administrativos, distribuídos por 200 postos de trabalho.

A empresa não se limita apenas à produção e venda dos seus produtos, fazendo a instalação e assistência das máquinas - ferramenta e prestando vários serviços que passam pela formação de operadores, técnicos de programação e de manutenção encaminhando os equipamentos mais antigos.

A ADIRA é uma marca reconhecida internacionalmente pelo seu prestígio, qualidade dos seus equipamentos e inovação dos mesmos. A empresa é líder ibérica no fabrico de quinadoras e guilhotinas exportando para mais de 50 países. As suas áreas de negócio vão desde os sectores da indústria automóvel, aeronáutica, construção naval, telecomunicações, computadores, energias renováveis, ambiente, mobiliário metálico e de escritório, artigos de design, construções metálicas, elevadores, armaduras eléctricas, equipamentos de frio e AVAC.

A empresa foi a primeira na península ibérica a produzir máquinas de corte por laser para a indústria metalomecânica, tendo como clientes algumas das marcas e organizações mais prestigiadas a nível mundial como NASA, Boeing, Lockheed, Bombardier, OGMA, Tap Portugal, Air France, Vulcano, Salvador Caetano, Metalgalva, Galucho, Leci-Trailer, Zamarbu, Siemens, Motorola, Efacec, Alfa Laval, Thyssen, Carrier, US Navy e a Casa Branca entre outras pequenas e médias empresas.

Nos anos 70 e 80 a ADIRA expandiu-se comercialmente criando duas empresas a Oxisol que se ocupa de toda a construção soldada situada em Vila Nova de Gaia e a Normáquina encarregue da importação e comercialização de produtos complementares às máquinas produzidas. Em 1998 adquiriu a empresa GUIFIL um ex-concorrente sendo posteriormente criada uma marca com o mesmo nome que oferece uma gama de máquina a preço mais acessíveis com qualidade e garantia de assistência técnica.

Ao longo da sua existência a empresa apostou na inovação tecnológica, tendo como exemplos mais recentes a aposta do recurso à tecnologia das células robotizadas de quinagem sendo integrado um robot numa quinadora para manipulação da chapa, ou no centro corte laser um sistema automático de carregamento e descarregamento de chapa, não sendo necessária a intervenção de operadores.



Figura 1-Centro de corte laser com sistema automático de carregamento e descarregamento de chapa e Quinadora hidráulica com robot

1.2 O Projecto na ADIRA

Na tentativa de se tornar mais forte e competitiva no mercado das máquinas de dobragem de chapa a empresa passa neste momento por um processo de standardização e modularização, tentando eliminar o elevado número de componentes existentes em cada quinadora sendo no caso deste estudo um desses componentes os cilindros hidráulicos das quinadoras.

No actual mercado globalizado é necessário responder às exigências dos clientes num espaço de tempo mais curto possível sem perder eficiência e qualidade. As empresas nos dias de hoje têm de ser flexíveis para poderem ser competitivas.

O projecto realizado na empresa teve como tema a standardização e a modularização dos cilindros hidráulicos das quinadoras.

A standardização e modularização dos cilindros hidráulicos para uma gama abrangente de quinadoras, tenta reduzir os tempos de fabrico e o número de componentes em circulação durante o processo de produção, garantindo todos os aspectos de segurança no accionamento hidráulico e tendo em conta a limitação dos materiais utilizados.

Foram desenvolvidas várias propostas para os cilindros hidráulicos durante o decorrer do projecto, sendo analisadas as suas vantagens e desvantagens em relação ao modelo actual.

A máquina de dobragem de chapa - quinadora produzida na ADIRA divide-se em quatro gamas principais as QIHD (quinadoras hidráulicas sincronizadas electronicamente) e as QIHF (quinadoras hidráulicas com sincronismo electrónico para velocidades e cursos maiores) e as

QIH (grandes comprimentos e fortes espessuras de chapa) e as PM (máquinas standard com um custo baixo mas que garantem um bom desempenho durante o processo de quinagem).

As QIHF em relação às QIHD têm uma maior produtividade, maior rapidez, maior repetibilidade e flexibilidade, sendo ideais para quinagens descentradas e de maior precisão aliadas a uma rapidez elevada.

Contudo as QIHD permitem um óptimo desempenho no processo de quinagem, permitindo uma boa precisão e um bom controlo do ângulo de quinagem.

Actualmente cada cilindro hidráulico (dois por quinadora), é constituído por um corpo, onde se encontra a haste e que faz accionar o avental móvel, este é específico para cada gama e praticamente todas as forças de quinagem o que faz com o que a circulação de stocks seja elevado e optimização dos mesmos e dos processos de fabrico nem sempre sejam conseguidos como pretendido.

1.3 Desenvolvimento e objectivos do Projecto

O projecto na empresa teve como principal objectivo standardizar e modularizar os inúmeros componentes dos cilindros hidráulicos nas quinadoras tendo-se como limite para a nossa standardização as quinadoras com capacidade de 200 toneladas.

Numa primeira fase foi feita uma aprendizagem do processo de quinagem, das principais gamas de quinadoras produzidas e seus principios de funcionamento sobretudo no que diz respeito ao accionamento hidraulico.

Depois de familiarizado com o modelo actual de cilindros, foi feito um estudo para o dimensionamento mecânico e a procura de novas soluções, assim como a gama abrangente de quinadoras e quais os componentes a serem standarizados e modularizados.

Durante o processo de concepção dos novos modelos foram feitos cálculos de dimensionamento e estruturais de modo a garantir os requisitos mínimos de segurança e funcionamento.

A busca de novas soluções para os cilindros hidráulicos tiveram diferentes propostas quanto à gama, força de cilindro e quanto ao número de componentes a standardizar e modularizar.

Um primeiro modelo foi desenvolvido onde se propunha a standardização de vários componentes para diferentes gamas (QIHD, QIHF e PM) e para diferentes forças de cilindro isto é componentes idênticos em cilindros com capacidades de 55 toneladas e 110 toneladas por exemplo.

Contudo uma incerteza elevada quanto ao cumprimento dos requisitos mínimos de funcionamento, levou à concepção dum novo modelo que em termos geométricos e funcionamento geral era idêntico ao primeiro tendo como grande diferença que neste caso abrangia apenas a mesma gama e seria específico para cada força de cilindro.

Por fim foi feita uma última proposta de standardização e modularização em que se consideram vários componentes comuns para uma capacidade de quinagem compreendida entre 110 e 160 toneladas essencialmente, usando um modelo idêntico ao actual a nível de funcionamento geral e geometria.

No desenvolvimento destes novas propostas foram utilizadas várias ferramentas disponíveis na empresa, Solid Edge para a modelação, o Cosmos para o cálculo estrutural e o Baan software que permite gerir a informação de forma integrada e partilhada nas diferentes áreas da empresa.

1.4 Organização e temas abordados no relatório

O relatório é composto por quatro capítulos principais. No primeiro capítulo é feita uma apresentação da empresa, do projecto na empresa e do seu desenvolvimento e principais objectivos, sendo igualmente feito uma introdução à standardização e modularização e onde irá actuar para as diferentes soluções para o caso específico dos cilindros hidráulicos das quinadoras.

No segundo capítulo é feita uma abordagem teórica ao processo de quinagem, aos seus parâmetros principais, uma descrição geral do tipo e funcionamento das quinadoras hidráulicas e as gamas de quinadoras produzidas pela empresa.

No terceiro capítulo é abordado o modelo actual dos cilindros hidráulicos das quinadoras. No ponto 3.1 deste capítulo é descrito as razões e os métodos usados na standardização e modularização para o caso geral e depois para o caso particular da empresa e quais as vantagens adjacentes da sua implementação.

No ponto 3.3 é apresentado o modelo actual dos cilindros das quinadoras, enumerando-se os seus componentes, o seu princípio de funcionamento e sua localização e aplicação nas quinadoras.

Neste capítulo é abordado as considerações teóricas a ter conta para o dimensionamento de um cilindro hidráulico, verificação das tensões presentes para as diferentes forças e dimensões usando dois métodos diferentes e interpretação dos cálculos e resultados obtidos.

O quarto capítulo é inteiramente dedicado à elaboração dum novo modelo de cilindros tendo em conta a standardização e modularização e sua validação em termos estruturais.

Nos primeiros três pontos deste capítulo é feito uma abordagem às ferramentas e métodos a ter em consideração no desenvolvimento dum novo modelo, pesquisa de modelos semelhantes existentes no mercado, gama que se vai poder abranger com esta nova proposta, princípio de funcionamento e alojamento nas quinadoras.

Posteriormente é feita uma simulação do modelo proposto usando um software de cálculo estrutural (Cosmos) analisando as tensões e deslocamentos presentes em comparação com o modelo actual.

Depois do cálculo estrutural é estimado o novo processo e custo industrial, mais uma vez tendo em conta o modelo actual.

Numa ultima fase deste capítulo é apresentado uma nova proposta para a standardização e modularização, distinta da proposta anterior e onde é feita igualmente uma análise do custo industrial.

2 Quinagem e Quinadoras Hidráulicas

2.1 Quinagem

A quinagem é um processo de conformação plástica (Jorge Rodrigues, Paulo Martins, 2005, Tecnologia mecânica Volume 2) que consiste na obtenção de uma dobra linear de uma chapa plana. O punção penetra na matriz dependendo o ângulo da dobra da profundidade de penetração na matriz do punção. Este processo de conformação tem aplicação nos mais variados ramos da indústria.

À medida que o punção penetra na matriz a chapa sofre uma deformação, deformação que se torna permanente assim que o limite elástico da chapa é ultrapassado com as características pretendidas. Assim que o punção é retirado o material sofre um retorno elástico

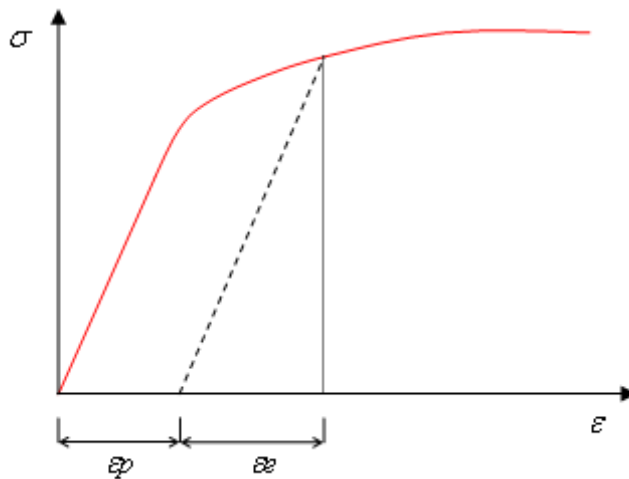


Gráfico 1- tensão vs deformação

O punção ao penetrar na matriz vai criar uma dobra constituída por um raio interior e por um ângulo de quinagem (r_i e β). O raio interior depende do valor da abertura da matriz ou “Vê da matriz” e do valor do raio do punção, enquanto o ângulo de quinagem vai depender igualmente do “Vê da matriz” e da profundidade de penetração do punção.

Existem duas técnicas principais de quinagem

- **Quinagem forçada ou quinagem a fundo**
- **Quinagem livre ou quinagem no ar**

Na primeira a chapa é esmagada entre o punção e a matriz, sendo a matriz moldada conforme o contorno das ferramentas. Na quinagem livre a chapa sofre uma flexão plástica simples isto é o punção não penetra totalmente na matriz sendo esta técnica semelhante a uma viga simplesmente apoiada com uma força a meio vão.

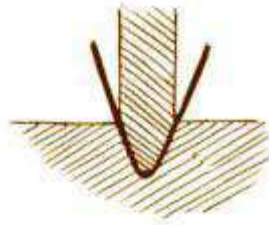


Figura 2- Quinagem a fundo

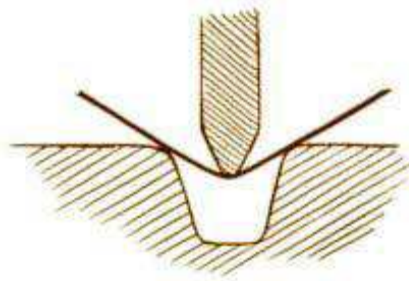


Figura 3-Quinagem no ar

Podemos destacar as seguintes vantagens e desvantagens na quinagem a fundo (figura 3):

- Melhor repetição do ângulo de quinagem e redução do retorno elástico
- Forças mais elevadas em comparação com uma quinagem livre, provocando um maior desgaste nas ferramentas, necessitando assim de um par punção matriz para cada ângulo de quinagem (chapas finas até 1-2mm).
- Não necessita de ferramentas tão precisas

Por sua vez na quinagem no ar temos (figura 2):

- Forças menos elevadas
- Menor desgaste das ferramentas, sendo possível com um par punção - matriz obter uma maior diversidade de ângulos de quinagem com uma precisão relativamente limitada sendo este par regulado por dois parâmetros a força e a profundidade
- Requer máquinas com boa precisão em paragem e repetibilidade
- Ferramentas rectificadas

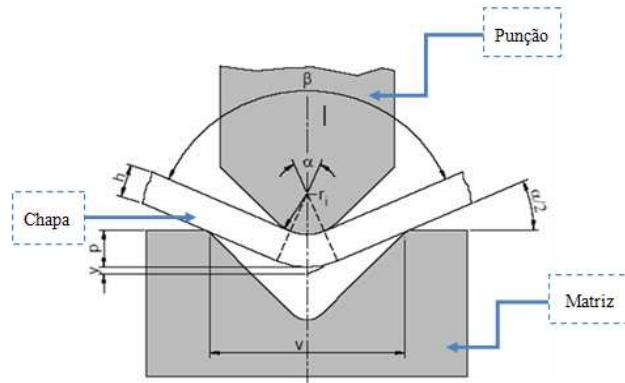


Figura 4-Quinagem e seus parâmetros principais

V – “Vê da matriz”; p – Profundidade de penetração; ri – Raio interior; y – Retorno elástico β - Ângulo de quinagem;
h – Espessura da chapa

Raio mínimo de quinagem

O raio mínimo de quinagem define-se como aquele para o qual surgem fissuras na superfície de chapa.

Estas fissuras podem ser evitadas usando vários métodos para calcular o raio mínimo de quinagem. Este métodos podem ser empíricos ou a partir de ábacos construídos a partir de ensaios experimentais (gráfico 2).

$$\frac{r_{\min}}{h} = \frac{1}{2q} - 1 \quad \text{se} \quad q \leq 0.2$$

$$\frac{r_{\min}}{h} = \frac{(1-q)^2}{2q - q^2} \quad \text{se} \quad q > 0.2$$

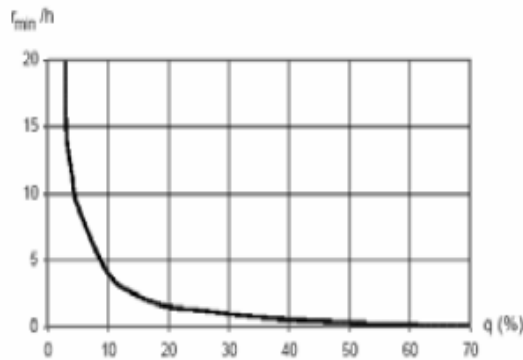


Gráfico 2-Variação do raio mínimo sobre a espessura com diminuição da secção, num ensaio de tracção

r - raio interior mínimo

q - percentagem de diminuição da secção num ensaio de tracção

h - espessura da chapa (mm)

A direcção perpendicular à quinagem é aquela que nos permite obter os raios mínimos mais pequenos, dependendo também do tipo de material e da abertura do “Vê da matriz” sendo esta relação dada por:

$$r_i \geq \frac{5}{32} \cdot V \quad \text{(Equação 1)}$$

r_i – raio interior mínimo

V – abertura do “Vê da matriz” (mm)

Força de quinagem

A força necessária para quinar uma peça depende da abertura do “Vê da matriz”, da espessura da chapa, do comprimento da chapa e da tensão de ruptura variando de chapa para chapa. O cálculo simplificado desta força é o seguinte (J.A. Bessa Pacheco, 1992, *Utilização de Quinadoras e Guilhotinas*):

$$F = k \cdot \frac{\sigma_r \cdot h^2 \cdot l}{v} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde $k = 1 + 4 \cdot h/v$ e

σ_r – Tensão de ruptura da chapa (daN/mm²)

h – espessura da chapa (mm)

l - comprimento da chapa (mm)

V - abertura do “Vê da matriz” (mm)

Normalmente este método é usado para o cálculo da força necessária num processo de quinagem no ar enquanto para um processo de quinagem a fundo normalmente é 3 a 4 vezes superior

Recorrem-se com frequência a tabelas de quinagem para determinar a força requerida por metro de chapa e para escolher o “Vê da matriz” mais conveniente. As tabelas de quinagem são elaboradas para chapas de aço macio com tensão de ruptura nominal de 40 a 45 daN/mm²

Os valores aconselhados para os “Vês” (Figura 43) aparecem a amarelo mais carregado, se não conseguir utilizar nenhum dos valores recomendados, por exemplo devido as abas mínimas serem muito reduzidas ou quinagens com raios muito vincados, falta de ferramentas disponíveis, falta de capacidade da máquina etc., deve escolher um “Vê de matriz” entre os valores adjacentes ao sombreado.

O processo de quinagem depende essencialmente de três factores fundamentais, da geometria do material a quinar e da precisão de quinagem.

Por sua vez a geometria da peça é condicionada pelo punção (perfil, resistência), pela matriz (dimensão do V, ângulo, largura da matriz e resistência) e pela máquina (abertura, curso, nº de eixos etc.).

O perfil do punção deverá ter a forma da peça a quinar, sendo menor ou igual ao da matriz. Quando a quinagem impõe esforços elevados de contacto entre a peça e o punção a ponta deve ser temperada.

Por sua vez na matriz o “Vê” é um dos parâmetros que define a força de quinagem, impõe que a peça tenha uma aba mínima, impõe um raio interno mínimo desde que a quinagem seja feita no ar e que o raio do punção seja inferior ao da matriz.

Normalmente considera-se os seguintes valores para o cálculo do “Vê”:

- $V = 8xe$, se $e < 10$ mm
- $V = 10xe$, se $e > 10$ mm

Sendo e a espessura da chapa a quinar.

O ângulo do “Vê” define juntamente com o ângulo do punção o ângulo mínimo de quinagem, sendo que quanto menor for o ângulo menor será a resistência para a mesma largura da matriz.

À semelhança do que acontece nos punções a matriz poderá ser temperada nos pontos de contacto, tendo as arestas um raio de escorregamento para evitar a concentração de tensões num ponto.

Uma das imposições da geometria da peça a quinar de grande importância é a escolha correcta do tipo de máquina e selecção de algumas características.

A necessidade de utilizar na quinagem ferramentas muito altas pode condicionar a abertura da máquina e conseqüentemente o seu curso.

Por vezes a quinagem de chapas de longo comprimento obriga a cavas especiais fora das dimensões normalmente produzidas para permitir a passagem da peça entre os montantes da máquina.

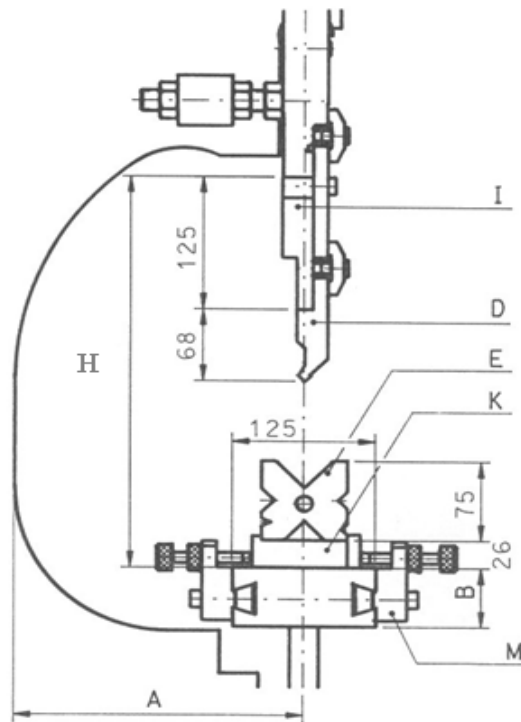


Figura 5- A- largura da cava; E- Matriz; D- Punção; I- Porta punções; H- Altura da cava

Os acessórios aplicáveis nas quinadoras como os acompanhadores de quinagem são também condicionados pela geometria da peça a quinar.

2.2 Quinadoras Hidráulicas

As quinadoras hidráulicas utilizam um, dois ou mais cilindros hidráulicos no accionamento do avental móvel sendo as mais comuns nos dias de hoje.

Permitem dispor de cursos elevados, e dum tempo de carga longa sendo este ultimo importante em trabalhos repetitivos, dentro de tolerâncias apertadas.

Este tipo de quinadoras permite a introdução de um comando sensitivo (movimento de subida e descida do avental), parando sempre que deixe de pressionar os comandos tornando estas máquinas seguras para o utilizador.

Dentro das quinadoras hidráulicas podem destacar-se como principais: **as quinadoras hidráulicas de curso ascendente e quinadoras hidráulicos de curso descendente.**

Quinadoras hidráulicas de curso ascendente

Neste caso o avental móvel é o inferior sendo accionado por um ou mais cilindros conforme a sua capacidade, sendo estes cilindros de simples efeito simplificando assim a sua construção assim como o circuito hidráulico para a sua alimentação.

Normalmente as quinadoras hidráulicas ascendentes usam um cilindro actuador mais forte no centro do avental, fazendo com que a deformação entre aventais seja muito mais reduzida. A principal vantagem desta quinadoras está na simplicidade aliado ao seu baixo custo, contudo revela-se pouco eficiente para quinagens descentradas sendo igualmente difícil a sua aplicação para chapas longas e pesadas.



Figura 6-Quinadora hidráulica ascendente ADIRA

Quinadoras hidráulicas de curso descendente

Este tipo de quinadoras é composto por dois cilindros hidráulicos estando cada um deles associado a um bloco de sustentação que faz com que o avental permaneça em repouso e a uma servo-válvula. As servo-válvulas são alimentadas por uma bomba hidráulica comum que descarrega para o depósito, através do bloco hidráulico com segurança em situações de repouso ou de sobrecarga.

O uso de comandos numéricos em quinadoras para controlar a posição do esbarro (eixo x) e a profundidade de quinagem (eixo y) em relação ao ângulo de quinagem têm sofrido grandes evoluções desde do final dos anos 70.

Esta evolução proporciona uma óptima utilização ao operador não só pelo auxílio dos comandos CNC, assim como a muito reduzida sensibilidade da quinadora a deformações estruturais, variações da pressão hidráulica e variações das temperaturas de funcionamento.

O CNC encontra-se ligado a todas as partes activas da máquina como por exemplo o bloco de segurança, servo - válvulas etc.

Por exemplo se por qualquer razão aparecer uma carga excêntrica durante a quinagem, aparecer um erro de paralelismo o CNC actuará na pilotagem das servo - válvulas convertendo a ordem do CNC em acção hidráulica nos cilindros, sendo possível corrigir e compensar o erro surgido.

Neste tipo de quinadoras é igualmente possível ajustar a profundidade de quinagem em carga, a profundidade de quinagem é independente do comprimento da peça a quinar, da pressão hidráulica, da temperatura do fluido hidráulico e da localização da carga.

Este tipo de quinadoras permite (J.A. Bessa Pacheco, 1992, *Utilização de Quinadoras e Guilhotinas*):

- Programação prévia de todas as ferramentas de quinagem com que a máquina trabalhará
- Programação directa da totalidade da peça a quinar
- Apresentação gráfica da sequência de quinagem
- Programação da inclinação do avental móvel
- Cálculo da força necessária de quinagem com a pressão hidráulica limitada
- Introdução automática do bombeado nos aventais
- Ligação automática dos sistemas de medição de chapa, com correcção automática da profundidade de quinagem.

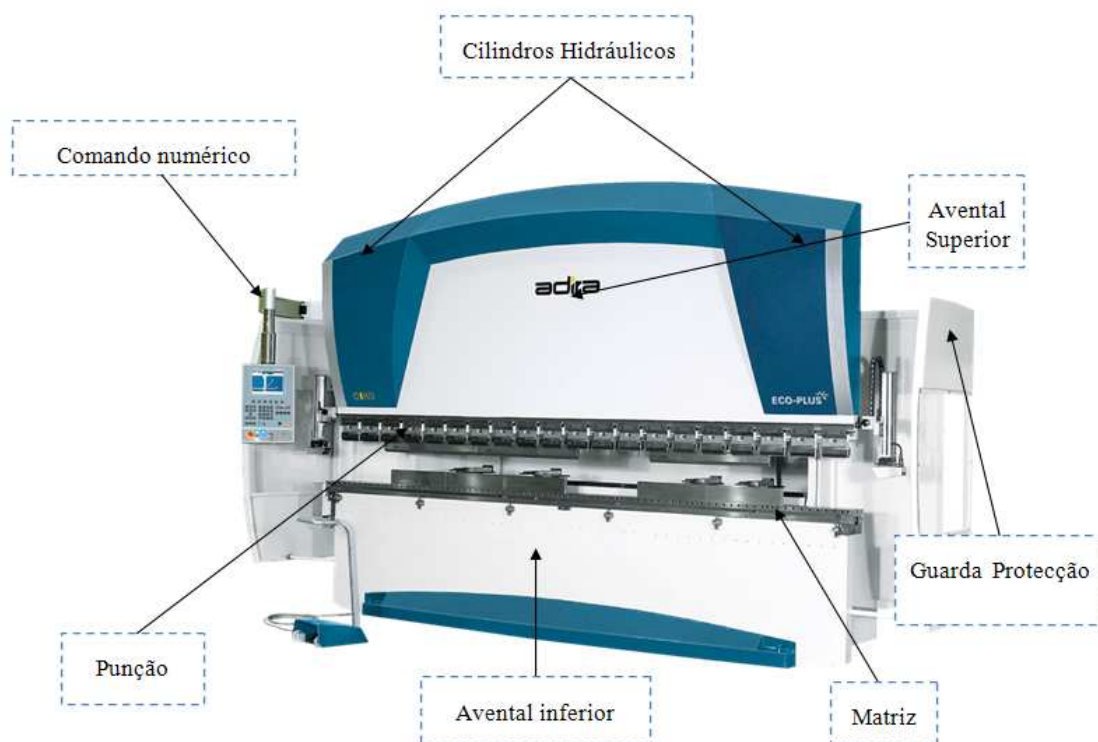


Figura 7-Quinadora QIHD Adira curso descendente

2.3 Gama de Quinadoras ADIRA

As principais gamas de quinadora Adira são actualmente as QIHD, QIHF, QIH e as quinadoras standard PM.

As QIHD quinadoras hidráulicas descendentes com sincronismo têm como características principais:

- Rápida velocidade operacional
- Reduzido tempo de set-up
- Multi-Estações de ferramentas
- Alta precisão
- Alta performance com baixo consumo de energia
- Alta eficiência hidráulica
- Curtos ciclos de tempo
- Ram paralelismo / precisão de paragem
- Facilidade de manutenção e diagnóstico

Para as quinagens mais difíceis, que exigem a maior precisão e consistência nos mais diversos materiais, comprimentos e espessuras as QIHF quinadoras hidráulicas descendentes com sincronismo electrónico são a escolha mais adequada. Em termos de produtividade são bastante semelhantes às QIHD a grande diferença em relação a esta última é em termos de flexibilidade entre as quais destacamos as seguintes características:

- Display gráfico 2D ou 3D
- Maior velocidade de quinagem
- Posicionamento diferente do eixo Y1 e Y2 (curvas de cone)
- Curso máximo maior
- Cava do montante maior

As QIH são uma gama de quinadoras pesadas para grandes espessuras e comprimento de chapa, permitindo uma força de quinagem até 2000 toneladas com um comprimento de 12000 mm, uma abertura de 1250 mm e um curso de 800 mm.

Estas máquinas podem ser agrupadas em tandem sendo uma boa alternativa para longos comprimentos de quinagem, podendo estas funcionar em conjunto ou independentemente uma da outra e com ferramentas diferentes se necessário desde que altura dos postos de trabalho seja a mesma.

Na análise deste projecto apenas foi incluído a gama QIHD, QIHF e PM.

Estas máquinas possuem vários componentes comuns entre si, o comando numérico possuindo este várias configurações: Indico, Atlântico e Pacífico sendo o último aquele que se traduz numa maior produtividade.

Existe também uma nova gama de quinadoras da marca Guimadira (designação PM) que permite igualmente um processo eficiente de quinagem com melhor relação de custos benefícios no mercado.

Estas máquinas permitem um bom desempenho em muito semelhante com as quinadoras do tipo QIHD, sendo o seu equipamento de série e opcional um pouco mais restringido e standardizado não permitindo grande variação na sua configuração. A sua grande vantagem é o custo menor em relação às quinadoras convencionais.

Todas estas máquinas estão equipadas com um comando de pedal duplo (para fecho e abertura das ferramentas), e um sistema segurança lazer (Lazer Safe) constituído por um emissor e um receptor montados no avental móvel que acompanha o movimento deste, fazendo com que a zona abaixo do punção esteja sempre protegida.

Existem também algumas opções que podem equipar estas quinadoras aumentando a sua produtividade tais como os acompanhadores de quinagem e a integração de células robotizadas de quinagem

Os cilindros hidráulicos são um dos muitos conjuntos associados a estas três gamas de quinadoras sendo cada um deles diferente para cada gama e capacidade de quinagem com excepção das QIHD e das PM.

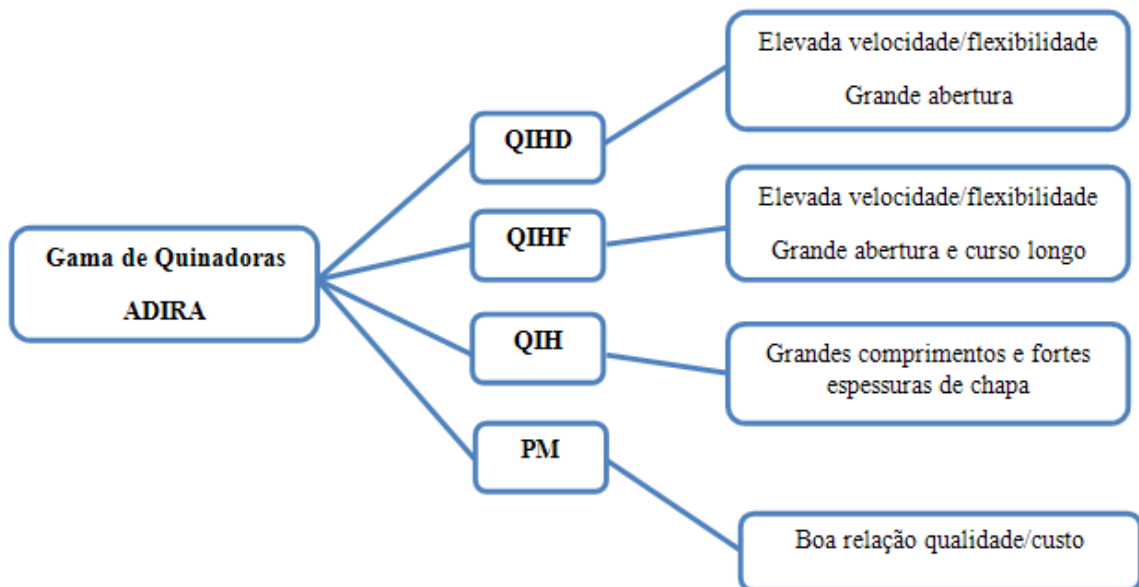


Figura 8- Esquema dos principais tipos de modelo de quinadora ADIRA

Os cilindros hidráulicos aparecem na estrutura de componentes da quinadora como montagem de cilindros destacando-se ainda a montagem da estrutura, do grupo hidráulico e da mesa bombeada como os mais significativos.

Ao consultar a estrutura duma máquina constatamos que lhe estão associadas centenas de componentes, sendo por vezes difícil a um nível de optimização de stocks e processos tratar e controlar toda esta informação

3 Estado da arte do modelo actual dos cilindros hidráulicos das quinadoras

3.1 Standardização e Modularização

A globalização mundial da indústria nos últimos anos tornou o mercado altamente competitivo e a necessidade das empresas se tornarem mais flexíveis, sobretudo no que diz respeito aos prazos de entrega dos seus produtos aos clientes.

Na tentativa de ser mais flexível no mercado das máquinas de corte e dobragem chapa e poder responder às encomendas dos seus clientes num curto espaço de tempo, a ADIRA tenta tornar os variados componentes existentes nas suas máquinas os mais standardizados e modularizados possíveis.

A implementação nas empresas de um conceito de standardização e modularização industrial, caracteriza-se por otimizar a sua produção sem comprometer à percepção do cliente a qualidade/custo na utilização do produto (standardização) e tentar a partir de vários conjuntos modulares evoluir para diferentes configurações (modularização).

A standardização entende-se como algo que não está sujeito a variações tenta otimizar a relação funcional entre conjuntos e subconjuntos de forma a reduzir a variedade de componentes utilizados em cada modelo, abrangendo a maior gama possível. Deve-se igualmente garantir que seja mantido um compromisso de eficácia/qualidade tendo sempre a preocupação de redução de custos para a gama de produtos a standardizar.

A standardização tem algumas vantagens como por exemplo: a simplificação do processo em todas as fases de concepção do produto, escolha mais simples dos materiais a utilizar permitindo uma optimização dos custos e stocks, optimização dos seus recursos (máquinas e homens) e simplificação dos lay-outs.

A metodologia usada passa por três etapas essenciais:

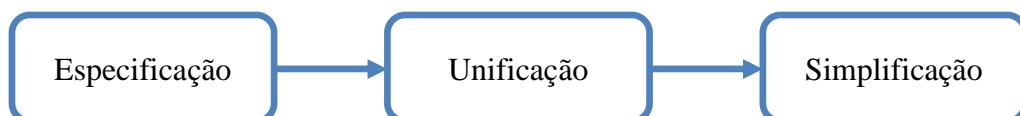


Figura 9-Etapas principais da standardização

A especificação passa por um levantamento dos conjuntos que compõem a estrutura em questão e sua gama, a unificação escolhe as formas e as dimensões ideais sem comprometer a funcionamento do componente (dimensionamento mecânico adequado) e a simplificação elimina duplicações e adapta um mesmo conjunto a uma gama mais abrangente possível respeitando as considerações de projecto e um coeficiente razoável de fiabilidade e segurança do componente.

A modularização entende-se como algo configurável que pode variar dentro de um número restrito de opções, a arquitectura modular dum produto em detrimento duma arquitectura integral mantém uma variedade comercial de produtos mas diminui a variedade técnica.

O processo de standardização pode ser implementado usando o conceito "Lean Thinking", reduzindo ou eliminando o desperdício como produção em excesso, pessoas em espera, movimentos de materiais e sobre processamento, erros e defeitos.

O pensamento lean (João Paulo Pinto, 2006, Gestão de Operações na Indústria e Serviços) consiste num conjunto de conceitos e princípios que tem como objectivo simplificar o modo como uma empresa produz valor enquanto se tenta eliminar todos os seus desperdícios, a sua implementação requer cerca de cinco conceitos que serão descritos de seguida.

Valor - Necessidades e expectativas dos clientes ou utilizadores do produto

Cadeias de valor – Sequência de processos que desenvolvem produzem e entregam os resultados desejados, racionalizando cada etapa dos processos.

Fluxo – organiza-se a cadeia de valor para eliminar qualquer parte do processo que não acrescente valor deixando o processo fluir mais rapidamente, o fluxo contínuo permite poder fabricar produtos conforme é pedido pelo cliente.

Puxar (Pull) - Consiste em produzir apenas aquilo que é necessário quando for necessário, evitando a acumulação de stocks e fornecimento do produto encomendado no prazo definido.

Perfeição – A perfeição traduz-se numa completa eliminação do desperdício, procurando os meios ideais para criar valor enquanto o desperdício é eliminado

O pensamento lean é sobretudo uma mudança de atitude e de cultura empresarial, sendo frequentemente utilizado pela gestão de topo que tem autoridade para implementar a mudança, podendo esta mudança ter como objectivo principal alterar os processos de trabalho e pessoas passando pela alteração ao nível de processos e equipamentos.

3.1.1 Conceito de modularização

O conceito de modularização teve origem no trabalho de Simon (1955;1984). Ele estudou a possibilidade de se dividir o conceito da compreensão da informação nas diferentes áreas duma organização empresarial.

Partindo deste conceito alguns autores (Simone Poledrini, 2008, From Modular Innovation to Systems Integration: the Main Experiences from Italian Machine Tool Builders) consideram a modularização como uma estratégia para a produção de alta tecnologia de produtos constituídos por multi-componentes que permitam a implementação de diferentes de módulos.

A modularização tenta reduzir a complexidade relativamente ao número de módulos usados, sendo que cada módulo não interfere na especificação dos restantes.

A estratégia modular, tenta minimizar os problemas tecnológicos e organizacionais que doutra maneira poderiam ser mais difíceis de resolver. Ao separarmos as diferentes tecnologias em vários módulos dividimos igualmente as várias etapas de produção dum produto final.

Ao dividir um produto em vários módulos, cada módulo deve ter o mínimo de interacções entre os seus principais subsistemas. Este conceito vai ao encontro da teoria da modularização que diz que um produto necessita dum conhecimento mínimo da actividade do projecto, sendo possível especificar num único módulo que é independente de todo o resto (Baldwin & Clark, 2001, 2004).

O conceito de arquitectura dum produto preocupa-se com a especificação das diferentes interfaces que unem os diversos componentes e definição das suas funções contribuindo para um determinado funcionamento no produto final.

A arquitectura dum produto pode ser integral ou modular dependendo de duas propriedades, a ligação entre os diversos elementos físicos que constituem o produto e nível de ligação entres estes elementos.

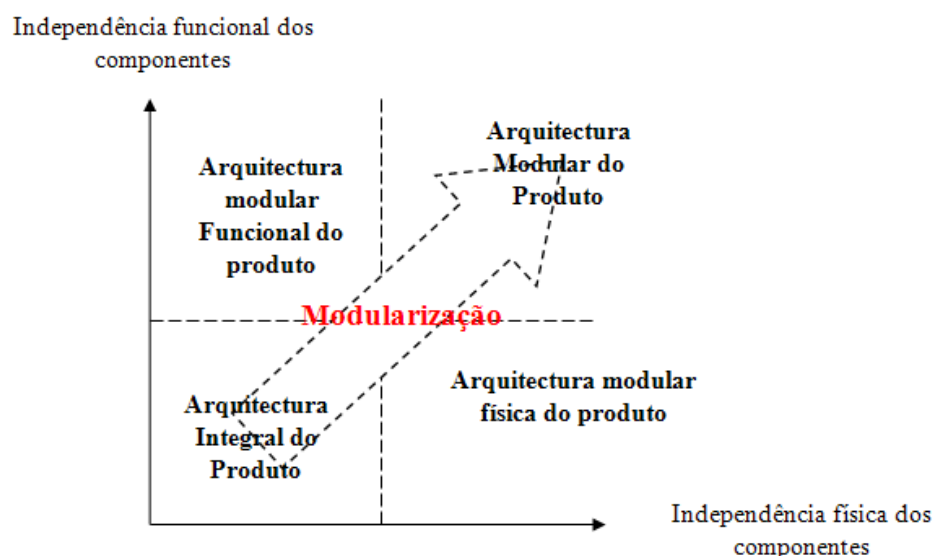


Figura 10- Independência funcional e independência física dos componentes considerando arquitectura modular e integral

A arquitectura modular é mais eficiente em empresas que possuem uma variedade de produtos que podem ser normalizados, uma indústria que usa esta arquitectura de produto pode fazer variar a configuração do seu produto pela simples substituição dum módulo diferente.

As empresas usam o conceito de modularização como estratégia de planeamento para melhorar a sua eficiência no ciclo de vida do seu produto e tornar a sua organização mais eficaz.

3.1.2 Modularização no projecto de máquinas ferramenta

Nos últimos anos tem sido feitos esforços na indústria para desenvolver e implementar sistemas reconfiguráveis de produção (Reconfigurable Manufacturing Systems –RMS), permitindo reduzir os custos de fabrico e responder às exigências do mercado. Inicialmente o RMS foi desenhado para rapidamente se adaptar às diferentes montagens possíveis dum produto.

Um dos campos de aplicação deste método - RMS é na indústria das máquinas ferramenta (Roberto Pérez R., Joaquín Aca S, Andrés Valverde T., Horacio Ahuett G., Arturo Molina G, Carles Riba R. 2004, A modularity Framework for Concurrent Design of Machine Tools), em que a modularização assume-se como uma rápida integração de diferentes subconjuntos num único conjunto, sendo esse conjunto a montagem final da máquina.

Para a desenvolver e implementar um método de modularização numa máquina ferramenta é preciso ter em conta a suas especificações, as oportunidades de mercado, restrições tecnológicas e os principais objectivos que se pretende atingir com a modularização.

É comum numa fase inicial desenvolver um modelo de referência em que se define o ciclo de vida do produto, sendo esta referência dependente de um conjunto de processos, etapas e actividades. Os processos são desenvolvidos durante a engenharia de projecto tais como o desenvolvimento do processo envolvendo três sub-processos: transmissão de produto, transmissão de tecnologia (se é tecnologicamente viável) e design da máquina verificar se existe tecnologia disponível no mercado para a produção do novo componente ou modelo. Por sua vez estas etapas são indicadoras da evolução do processo como a concepção, desenvolvimento e lançamento deste modelo para produção.

As actividades são tarefas específicas que devem ser executadas com o intuito de completar as etapas.

A modularização e reconfiguração no design duma máquina ferramenta são baseadas essencialmente em duas perspectivas: orientação funcional e orientação construtiva.

A orientação funcional aproxima módulos projectados para uma determinada função ou objectivo de satisfazer as necessidades dos utilizadores adicionando ou retirando determinados módulos. Por sua vez a orientação construtiva é uma decomposição que facilita o fabrico, a montagem e transporte durante o ciclo de produção do modelo.

A modularização refere-se a uma série de princípios e regras que define uma determinada família de produtos ou máquinas quanto à maneira e forma como estes são encaixados uns nos outros. Estes módulos introduzem modificações na estrutura e funcionamento das máquinas conforme a configuração e requisitos desejados.

Este método de reconfiguração RMT (reconfigurable machine tools) estabelece quatro domínios que vão desde dos requisitos da construção da máquina – ferramenta até reconfigurar de uma estrutura modular

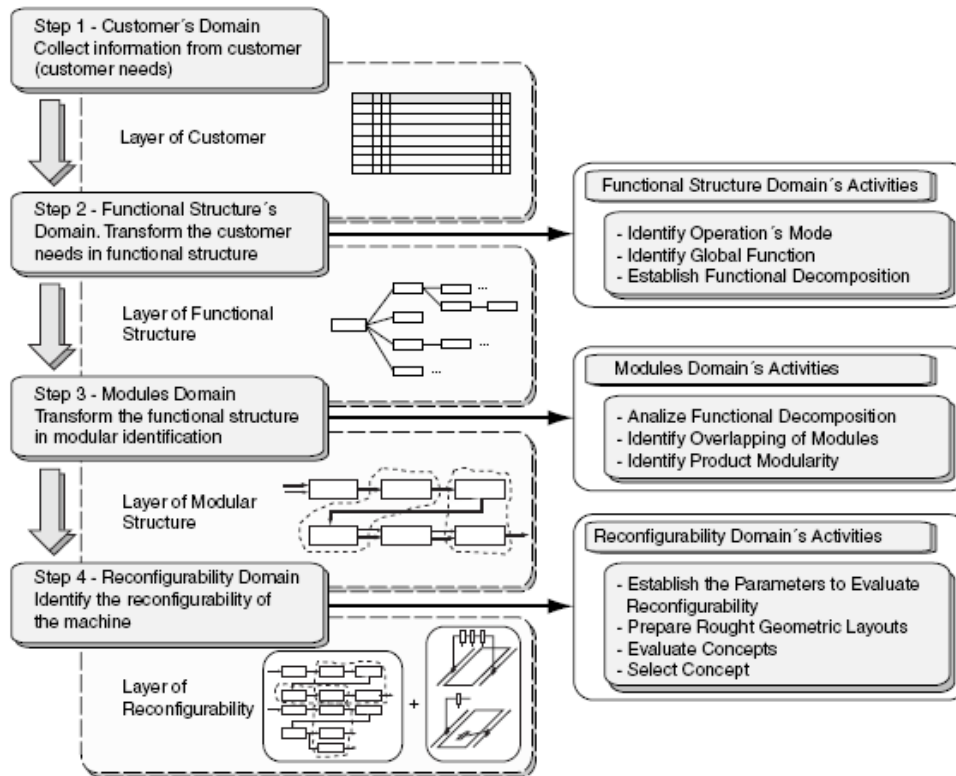


Figura 11-Metodologia para uma reconfiguração modular

Uma primeira fase passa por identificar na construção da máquina os requisitos que poderão afectar não só o desenvolvimento da máquina, assim como a sua aptidão para uma possível reconfiguração modular. Na segunda fase trata-se de passar as necessidades e os requisitos propostos na 1ª fase para uma decomposição hierárquica das diferentes funções da estrutura modular. Estas duas primeiras actividades estão inseridas na estrutura generalizada.

Na terceira e quarta actividade desta metodologia transforma-se a informação na primeira e segunda fase para uma actividade modular podendo ser usadas várias ferramentas nesta passagem como a Matriz de concepção de reconfiguração (RCM).

Esta metodologia foi abordada considerado uma séries de técnicas e ferramentas para uma máquina ferramenta generalizada, contudo estas só poderão ser bem sucedidas conhecendo muitos bem os requisitos e princípios de funcionamento para o tipo de máquina a modularizar.

3.2 Standardização e Modularização na ADIRA

Os critérios de selecção que definem as quinadoras Adira são:

- Gama (QIHF, QIHD, QH, QIH, PM- máquinas standard)
- Força (16 a 1500 toneladas)
- Comprimento (0,16 a 9 m)
- Cava, abertura e curso
- Comando, esbarro e segurança
- Tensão de alimentação
- Acessórios

A multiplicidade de modelos e versões e componentes das quinadoras geram para a empresa uma série de custos sem benefícios e uma variedade enorme de referências em circulação no processo de produção e montagem duma quinadora.

Daí que seja necessário fazer uma gestão da complexidade e custos associados, os recursos usados na gestão da complexidade podem ir desde da pesquisa e desenvolvimento, à produção à parte de marketing e vendas e ao apoio ao cliente pós venda.

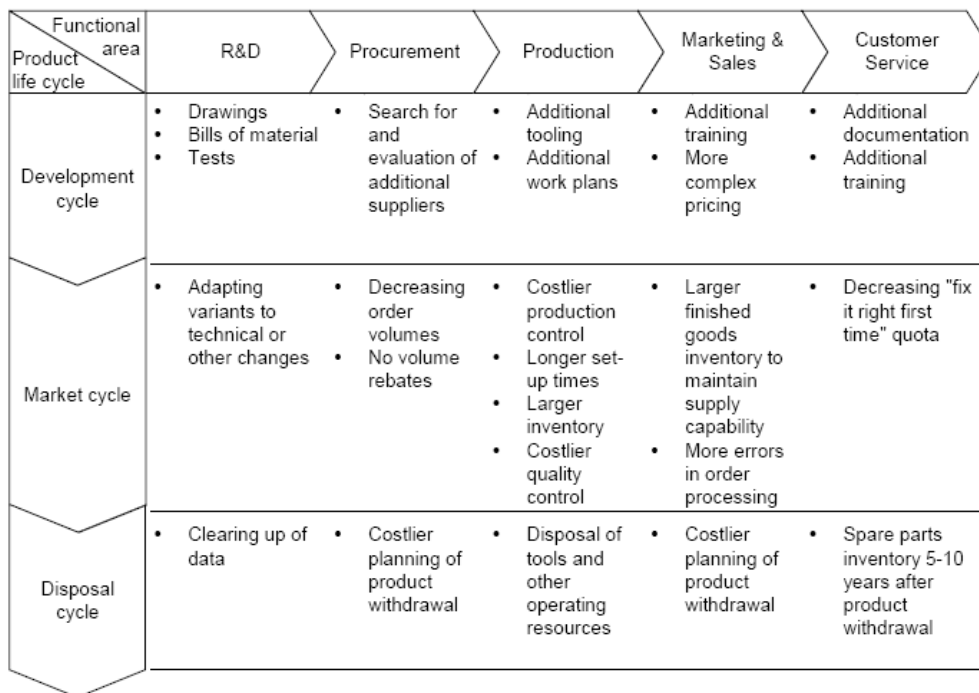


Figura 12-Ciclo de vida dum produto enquadrado nas diferentes áreas de uma empresa, podendo ser aplicado para o caso duma quinadora (Karl T.Ulrich, 2004, Product Design and Development)

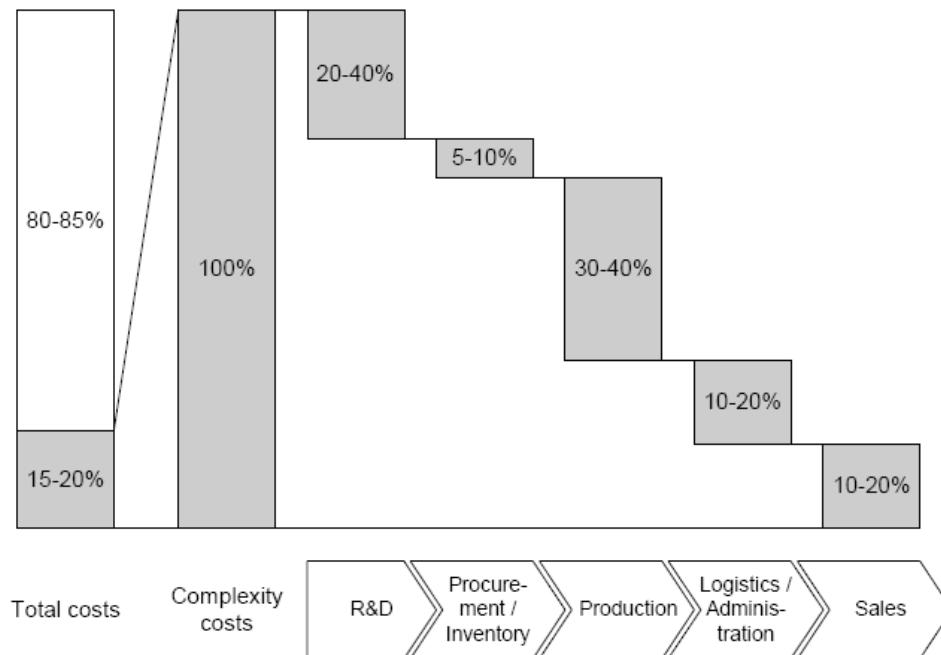


Gráfico 3- Custos de complexidade e como se dividem nas diferentes áreas de intervenção

Os custos da complexidade representam cerca de 15-20 % do custo geral dividindo-se esses depois em custos associados ao desenvolvimento à aquisição de contratos, produção e vendas.

É na produção que nos aparecem normalmente os maiores custos de complexidade, cerca de 30-40 % devido sobretudo ao grande número de modelos e especificações diferentes de quinadora para quinadora.

3.3 Distribuição de vendas das quinadoras Adira

Para ter uma percepção de quais as gamas a abranger no nosso estudo foi feito um levantamento das quinadoras vendidas no ano de 2009 nos diferentes modelos e capacidades de quinagem

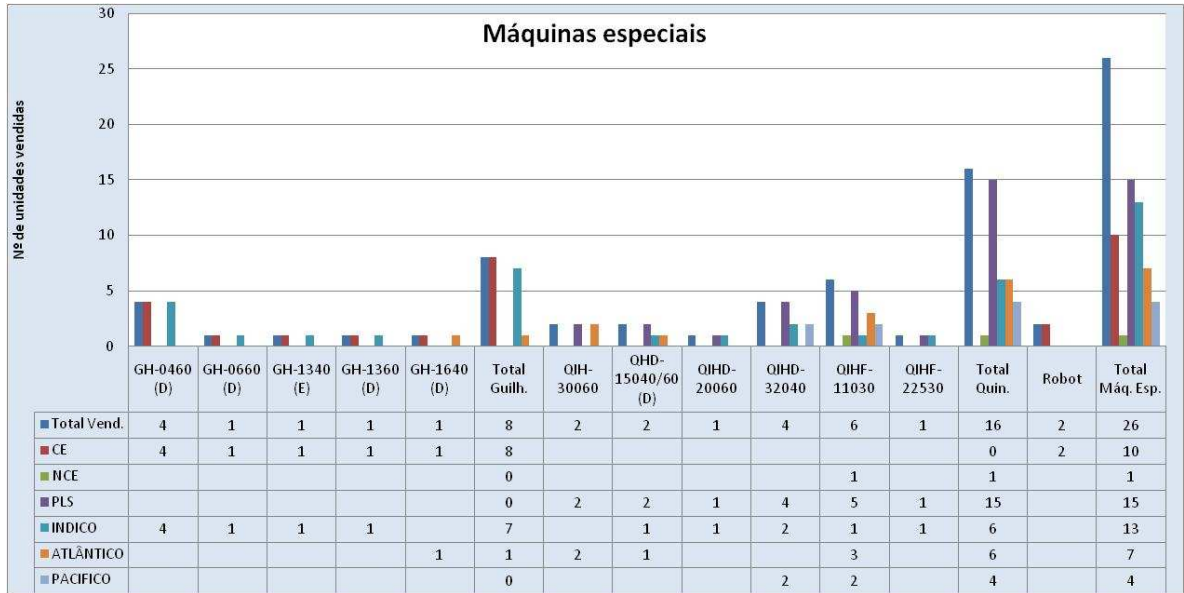


Gráfico 4-Distribuição Vendas 2009. Máquinas especiais incluindo a gama QIH e QIHF

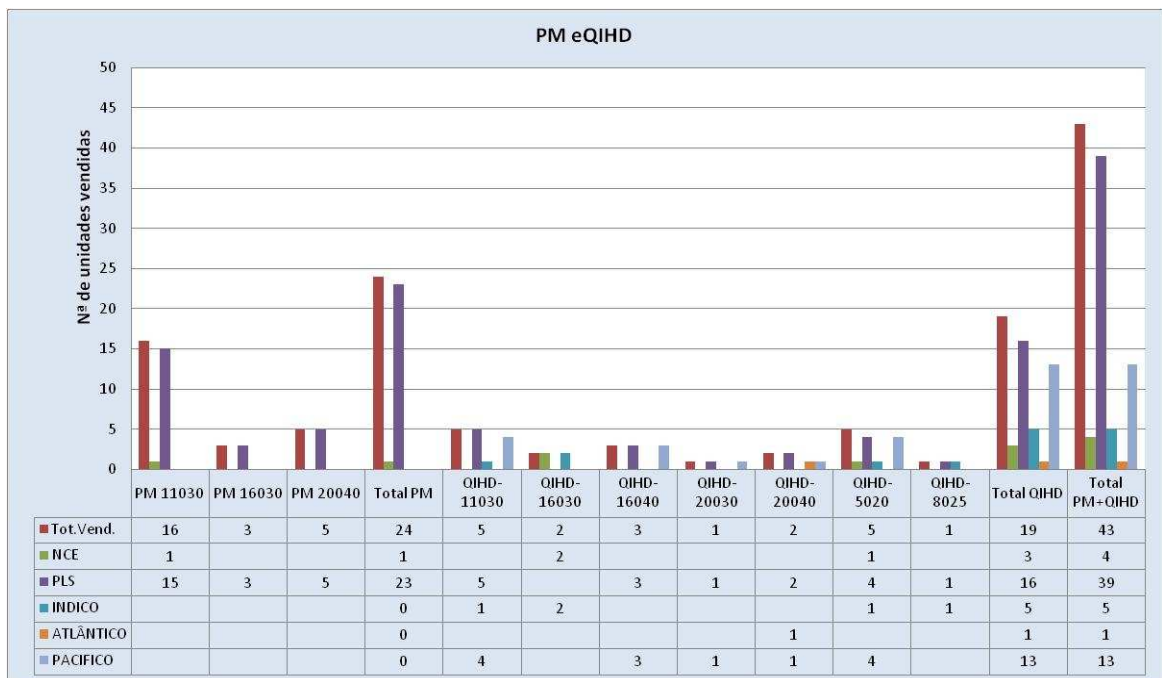


Gráfico 5-Distribuição Vendas 2009. Máquinas da gama PM e QIHD

Analisando a distribuição das vendas (gráficos 5 e gráfico 6), a gama onde podem ser retirados bons proveitos da standardização e modularização se situa principalmente nas gamas QIHD, PM e QIHF em quinadoras com capacidade até 220 toneladas.

O estudo da standardização e modularização dos cilindros hidráulicos foi desenvolvido em torno destas três gamas com uma expressão considerável em termos de vendas nas quinadoras produzidas pela empresa.

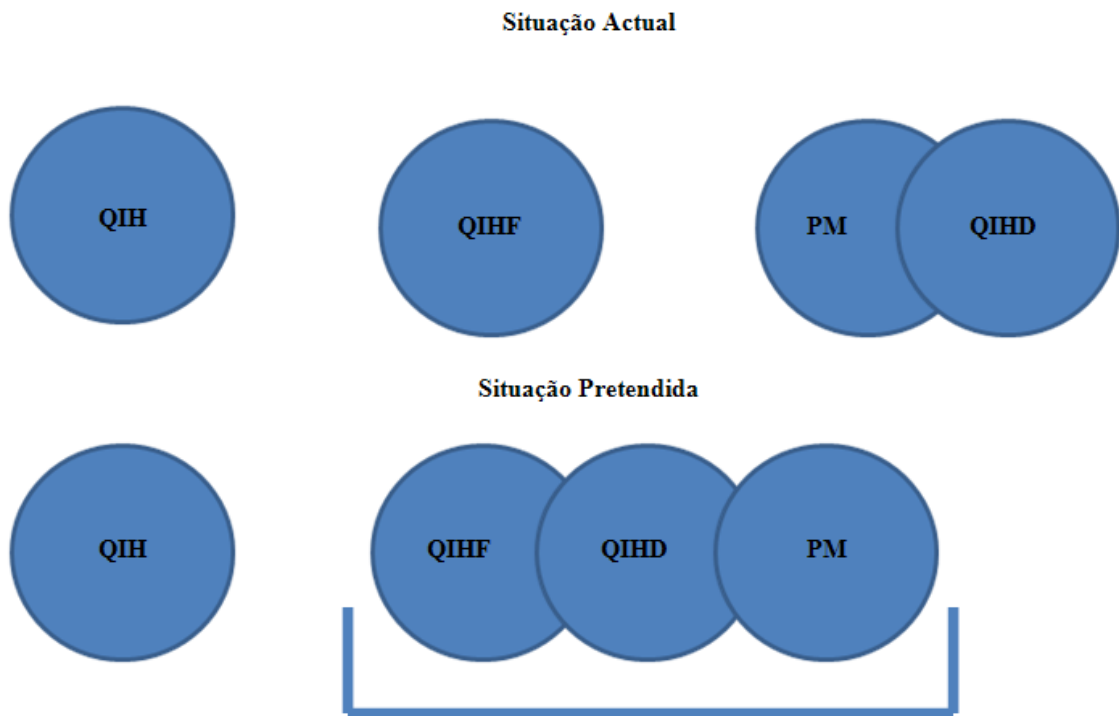


Figura 13-Gamas estudadas no âmbito da standardização e modularização

Foram então estudadas e analisadas soluções para aproximar gamas diferentes de quinadoras e se possível capacidades de quinagem diferentes. As QIH não farão parte da standardização e modularização uma vez que se tratam de máquinas muito específicas com aplicações especiais

A standardização e modularização passarão face à distribuição das vendas pelas gamas PM, QIHD e QIHF (figura 11)

Especificação para os cilindros hidráulicos

No caso das máquinas standard (PM) e QIHD existe uma série de conjuntos standardizados que eliminam e diminuem alguns dos custos de complexidade. Neste momento os conjuntos standardizados nas PM e QIHD são:

- Blocos Hidráulicos
- Depósito
- Cilindros Hidráulicos (dependendo da capacidade de quinagem da máquina)
- Guiagens
- Mesas e acessórios (versão modular)
- Braço do esbarro
- Suporte Lazersafe
- Blindagens (2 versões)
- Quadro eléctrico
- Motores principais (função potência da máquina)

Neste conjunto não se incluem alguns elementos estruturais, avental móvel e os cilindros hidráulicos para mais do que uma capacidade de quinagem.

Analisando a situação actual em comparação uma PM-11030 e uma QIHD-11030, e o peso dos diferentes conjuntos no custo final da máquina (estrutura, hidráulica etc).

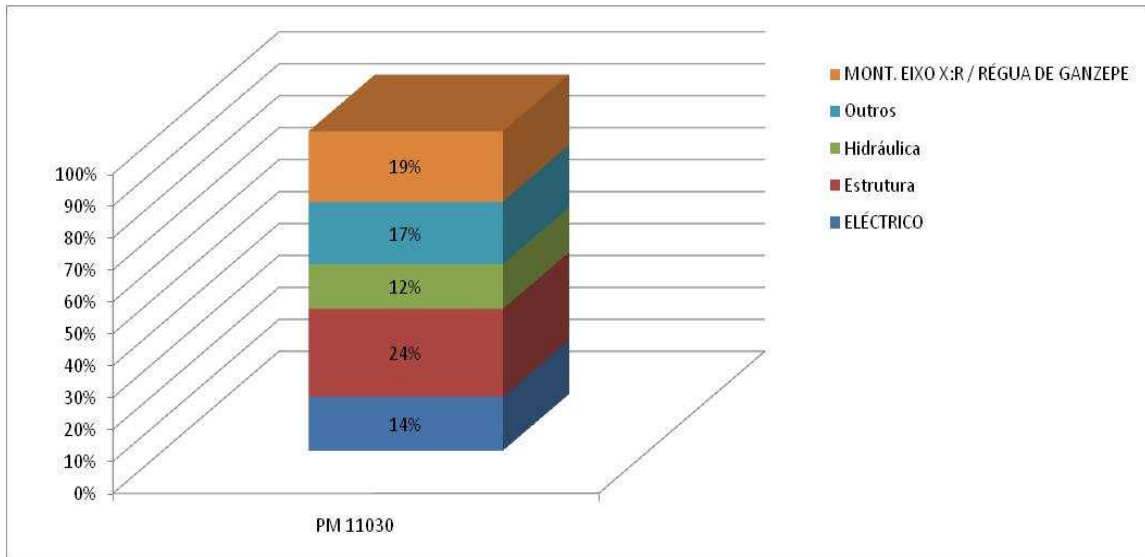


Gráfico 6- Percentagem no custo final dos diferentes componentes para uma PM-11030

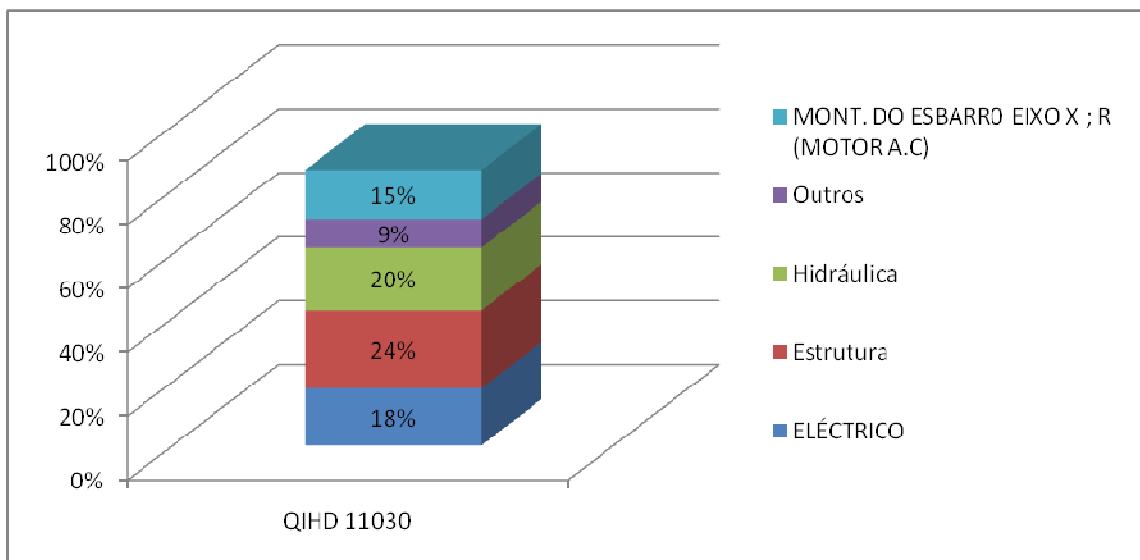


Gráfico 7- Percentagem no custo final dos diferentes componentes para uma QIHD-11030

Vemos que é comum tanto nas quinadoras PM e QIHD que o custo da estrutura representa uma grande percentagem no custo final, contudo não pode ser desprezado a parte hidráulica que representa 12% nas PM e 20% nas QIHD, este gráfico mostra-nos que se conseguirmos actuar usando as ferramentas, metodologia e implementação dum processo de standardização e modularização os resultados finais poderão ser benéficos.

3.4 Funcionamento dos Cilindros Actuais

O avental móvel da quinadora é accionado por dois cilindros hidráulicos montados nas suas extremidades. Estes cilindros hidráulicos estão fixos no montante da máquina por intermédio de parafusos.

Os cilindros actuais são constituídos por um corpo com forma rectangular onde está alojada a haste que prende ao avental móvel, o movimento da haste no avanço está limitado por uma tampa/porta guia no interior do corpo tendo um diâmetro inferior ao do êmbolo funcionando assim como um fim de curso.

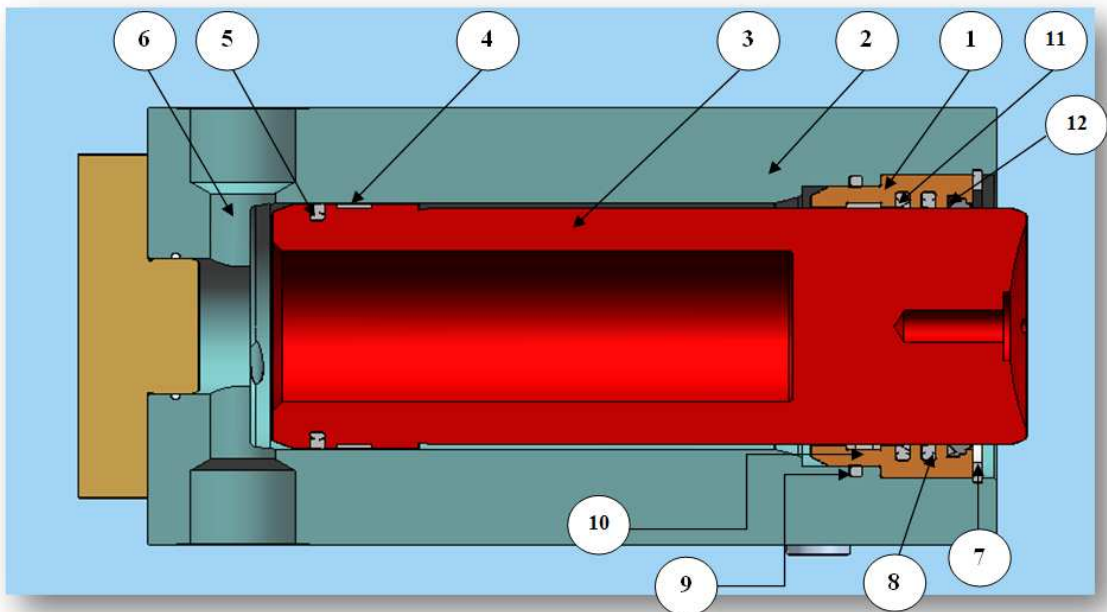


Figura 14-Modelo Actual dos cilindros hidráulicos numa QIHD-11030 visto em corte

1-Tampa do Cilindro; 2-Corpo do Cilindro; 3-Haste do Cilindro; 4-Cinta de Guiamento da Haste; 5-Vedante da Haste, 6-Canal de Óleo; 7-Freio Interior; 8-Vedante da Tampa do Cilindro; 9-Vedante O-Ring do Corpo do Cilindro com a Tampa; 10-Cinta de Guiamento da Tampa do Cilindro; 11- Vedante da Tampa do Cilindro; 12- Vedante Raspador

O óleo entra pelo canal onde vai incidir sobre a área frontal do êmbolo que consoante a pressão irá exercer uma determinada força de avanço. A área de avanço em relação à área anelar de recuo é muito menor uma vez que a força de recuo necessária é aquela capaz de fazer subir o avental móvel.

A figura 12 faz uma legenda das partes constituintes dos cilindros hidráulicos usados nas quinadoras actualmente. A tampa do cilindro (1) é uma placa circular com um furo central aproximadamente com o diâmetro da haste, tendo como função limitar o movimento desta, está presa no corpo do cilindro (2) por um freio interior (7) que impede que esta se mova axialmente, na tampa do cilindro está alojado o anel raspador (12) que tem como função limpar todas as impurezas e sujidades que se depositam no avanço sobre a haste impedindo assim a contaminação do fluido hidráulico, existem mais dois vedantes dois deles colocados

interiormente na tampa do cilindro (11 e 8) e um outro colocado entre a parte exterior da tampa e o corpo do cilindro (9), por último temos na tampa uma cinta de guiamento (10).

Na haste do cilindro (3), encontra-se na zona do êmbolo um vedante (5) que impede a passagem do óleo duma câmara para outra e uma cinta de guiamento (4).

Um dos aspectos mais importantes no dimensionamento do diâmetro da haste e do êmbolo é a existência no mercado de vedantes com diâmetros semelhantes, os vedantes desempenham um papel fundamental no correcto funcionamento do cilindro sendo construídos num material polimérico de modo quando instalados no seu alvéolo fiquem pré carregados obtendo uma pressão superficial mínima promovendo a sua vedação. Estes são fabricados com dimensões superiores às do alvéolo onde se vão fixar, o efeito da pressão sobre o vedante tem como objectivo aumentar a força de encosto sobre a superfície a vedar. Existem alguns aspectos a ter em conta na selecção de um vedante tais como a vida útil e fiabilidade, resistência ao desgaste mecânico, elasticidade e tolerância a desalinhamentos e excentricidades.

Por sua vez as cintas de guiamento em geral fitas de tecla endurecida PTFE (teflon) tem como função diminuir o atrito no guiamento das haste e do êmbolo, evitando assim neste caso o contacto da haste com as paredes do corpo do cilindro e da tampa, tendo estas uma capacidade limitada de pressão superficial sendo o seu dimensionamento feito através deste limite.

Antes da montagem das partes constituintes do cilindro é verificado se existem rebarbas deixadas pelo processo de fabrico no corpo, na haste e na tampa do cilindro sendo montada a haste com os respectivos vedantes e cintas de guiamento no interior do corpo por último é montada a tampa com os elementos de vedação e finalmente o freio interior, sendo posteriormente feito um ensaio para verificar se existem fugas de óleo.

O material utilizado no corpo do cilindro e na haste é um aço ao carbono Ck45 com uma tensão de rotura de 60 kgf/mm^2 e uma tensão admissível de 36 kgf/mm^2 , sendo a tampa do cilindro num aço ao carbono em tubo rectificadado St52 com tensão de cedência aproximadamente de 50 kgf/mm^2 e uma tensão admissível de $34,5 \text{ kgf/mm}^2$

Tal como foi dito anteriormente os cilindros hidráulicos encontram-se alojados nas extremidades da máquina, como se pode ver na figura seguinte

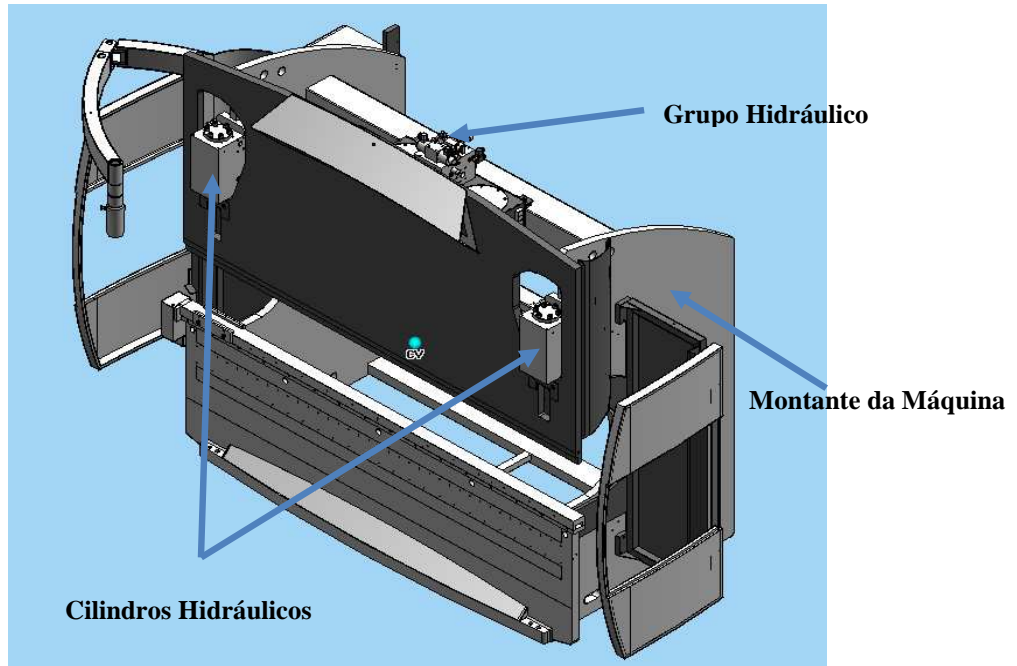


Figura 15- Localização dos cilindros hidráulicos numa quinadora QIHD

As hastes encontram-se fixas no avental móvel por intermédio de parafusos e onde se encontram os punções que através do avanço do avental vão quinar a chapa contra uma matriz.

A alimentação hidráulica dos cilindros é feita através dum bloco hidráulico comum alojado por trás do avental móvel, nos casos das QIHD a esta alimentação é feita por um canal de óleo na parte lateral do corpo enquanto nas QIHF é feita pela parte superior do corpo.

Depois da montagem de todos os componentes do cilindro e de fixos ao montante da máquina são montadas umas blindagens que tem como função a protecção durante o seu funcionamento além de tornarem mais interessante e atractiva a máquina em termos de design.



Figura 16- Vista frontal e lateral da montagem do cilindro numa quinadora

3.5 Dimensionamento Mecânico

A estratégia seguida para a standardização e modularização passou numa fase inicial por um levantamento do procedimento de cálculo actual e um dimensionamento mecânico do novo modelo para várias capacidades de quinagem de forma a poder analisar quais as gamas de quinagem a serem agrupadas para o caso dos cilindros hidráulicos.

O dimensionamento mecânico teve em conta as espessuras das paredes do cilindro e comprimento da tampa do mesmo partindo do levantamento dos diâmetros de haste e êmbolo usados actualmente. O dimensionamento da espessura das paredes do corpo do cilindro foi feito com base no roteiro de cálculo actual dos cilindros hidráulicos disponível no manual de projecto da empresa, tendo em conta que anteriormente tínhamos uma geometria quadrada para o corpo do cilindro e agora passaríamos a ter uma geometria circular.

Foi feito o levantamento destes valores até cilindros com capacidade de quinagem de 200 toneladas como é descrito na tabela seguinte:

Tabela 1-Dimensões de êmbolo e haste consoante a capacidade da máquina

Gama	Diâmetro de Haste (mm)	Diâmetro de Êmbolo (mm)	Capacidade (KN)
QIHD-5020	105	110	500
QIHF-5020	105	110	500
QIHD-8025	153	160	800
QIHF-8025	153	160	800
QIHD-11030	153	160	1100
QIHF-11030	153	160	1100
QIHD-16030	180	190	1600
QIHD-20040	210	220	2200
QIHF-17540	190	200	1750

Uma das formas analíticas através das quais podemos obter rapidamente a espessura das paredes do cilindro: é a fórmula de Bach (equação 3):

$$\frac{D}{d} = \frac{\sqrt{\sigma_{ad} + 0.4p}}{\sqrt{\sigma_{ad} - 1.3p}} ; \quad p < \frac{\sigma_{ad}}{1.3}$$

(Equação 3)

D -Diâmetro exterior do cilindro

d- diâmetro interior do cilindro

σ_{ad} - Tensão admissível

Tendo considerado para o corpo cilíndrico um aço do tipo Ck45 com uma Tensão de Rotura de 600 MPa, por isso por razões de segurança foi então calculada a Tensão admitida (σ_{ad}) sendo considerada como 1/6 da Tensão de Rotura do material (Francisco Freitas, 1992, Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, DEMEGI-FEUP)

Quando sujeito a uma pressão o cilindro inicia a sua fase de avanço ficando assim sujeito a uma tensão e deformação circunferencial (equação 4 e equação 5) nas paredes do corpo que nos pode ser dada pela seguinte fórmula.

$$\sigma = p \frac{(K^2 - 1)}{(K^2 + 1)}; \text{ sendo } K = \frac{D}{d} \quad (\text{Equação 4})$$

σ - Tensão Circunferencial

p- Pressão máxima de serviço

d- diâmetro interior do corpo

D- diâmetro exterior do corpo

Para $t/d > 0,1$ - cilindro de paredes espessas a deformação circunferencial é nos dada por:

$$\delta = \frac{d \times \sigma}{E} \quad (\text{Equação 5})$$

t- Espessura das paredes do cilindro

δ - Deformação circunferencial

E- Módulo de Young

d- diâmetro interior do corpo

Tabela 2-Espessuras, Tensão e Deformação circunferencial nas paredes dos cilindros para diferentes forças

Gama	Diâmetro de Haste (mm)	Diâmetro de Êmbolo (mm)	Diâmetro Exterior (mm)	Espessura Parede (mm)	Tensão Circunferencial (Mpa)	Deformação Circunferencial (mm)
QIHD-5020	105	110	149	19,5	101,765	5,33E-02
QIHF-5020	105	110	149	19,5	101,765	5,33E-02
QIHD-8025	153	160	217	28,5	101,765	7,75E-02
QIHF-8025	153	160	217	28,5	101,765	7,75E-02
QIHD-11030	153	160	217	28,5	101,765	7,75E-02
QIHF-11030	153	160	217	28,5	101,765	7,75E-02
QIHD-16030	180	190	257	33,5	101,765	9,20E-02
QIHD-20040	210	220	292	36	102,824	1,08E-01
QIHF-17540	190	200	271	35,5	101,765	9,69E-02

Estas considerações para o cálculo da espessura das paredes (equação 3) e das tensões (equação 4) e deformações (equação 5) nas mesmas são feitas com base na teoria de Bach, não sendo a única, existem mais algumas entre as quais se destaca a **teoria de Lamé** (Joseph E. Shigley, 1986, Standard Handbook of Machine Design) para a determinação de tensões nas paredes de cilindros espessos.

A teoria de Lamé considera um sistema de tensões principais ao longo das paredes do cilindro com uma tensão radial e outra perpendicular, tensão tangencial provocada pela pressão interna nas paredes do cilindro sendo estas dadas pelas seguintes fórmulas (equação 6 e equação 7).

Na fórmula consideramos r_0 o raio externo e r_i o respectivo raio interno do corpo cilíndrico sendo r igual a qualquer raio compreendido entre r_i e r_0 ($r_i \leq r \leq r_0$).

Para o cálculo da tensão longitudinal considerando o cilindro fechado nas duas extremidades o equilíbrio da tensão é nos dados pela seguinte expressão:

$$\sigma_r = \frac{p r_i^2}{(r_0^2 - r_i^2)} \frac{(r^2 - r_i^2)}{r^2} \quad (\text{Equação 6})$$

$$\sigma_t = \frac{p r_i^2}{(r_0^2 - r_i^2)} \frac{(r^2 + r_i^2)}{r^2} \quad (\text{Equação 7})$$

$$\sigma_l = \frac{p r_i^2}{(r_o^2 - r_i^2)} \quad \text{(Equação 8)}$$

A *teoria de Lamé* permite-nos também calcular os deslocamentos provocados pela tensão longitudinal e tangencial

Deslocamento Tangencial:

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} [\sigma h - \vartheta \sigma r - \vartheta \sigma l] \quad \text{(Equação 9)}$$

Deslocamento longitudinal:

$$\varepsilon_l = \frac{1}{E} [\sigma l - \vartheta \sigma r - \vartheta \sigma h] \quad \text{(Equação 10)}$$

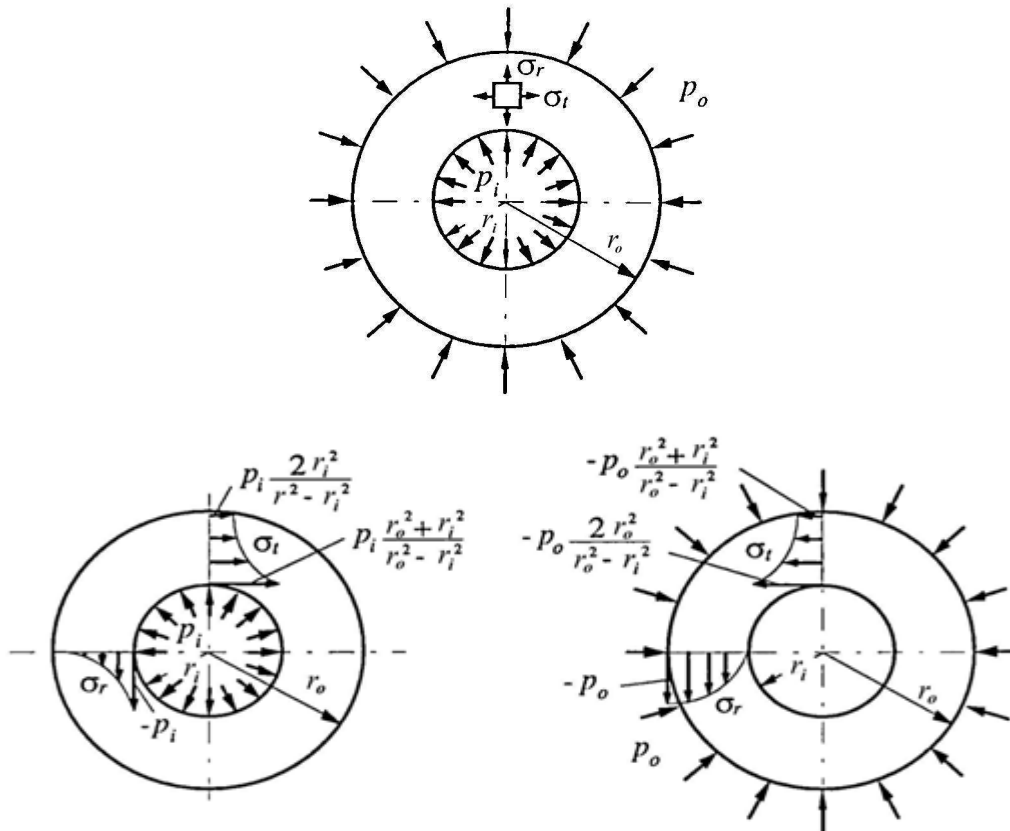


Figura 17-Diagrama das tensões tangencial e radial num cilindro sujeito a uma pressão

Tabela 3- Tensão tangencial, deslocamento tangencial e longitudinal pela teoria de tensões em cilindros

Gama	Raio externo (mm)	Raio interno (mm)	Raio intermédio (mm)	σ_r (MPa)	σ_t (MPa)	σ_l (MPa)	ϵ_t (mm)	ϵ_l (mm)
QIHD-5020	74,5	55	64,75	-11,64	83,512	49,808	0,141	0,347
QIHF-5020	74,5	55	64,75	-11,64	83,512	49,808	0,141	0,347
QIHD-8025	108,5	80	94,25	-11,62	83,103	49,605	0,141	0,345
QIHF-8025	108,5	80	94,25	-11,62	83,103	49,605	0,141	0,345
QIHD-11030	108,5	80	94,25	-11,62	83,103	49,605	0,141	0,345
QIHF-11030	108,5	80	94,25	-11,62	83,103	49,605	0,141	0,345
QIHD-16030	128,5	95	111,8	-11,65	83,975	50,037	0,142	0,348
QIHD-20040	149	110	128,5	-11,64	83,52	49,81	0,141	0,346
QIHF-17540	135,5	100	117,8	-11,63	83,4	49,75	0,141	0,346

Os resultados obtidos para a tensão circunferencial (equação 4) e para tensão tangencial (equação 7) revelam alguma diferença mas estão dentro dos limites admissíveis, contudo visto tratarem-se de fórmulas empíricas baseadas em correlações e regressões são sempre precedidas de alguma incerteza nos seus resultados, sendo estes resultados aproximações das tensões nas paredes do cilindro.

Constata-se que os resultados para as diferentes forças de cilindros a nível de tensões são praticamente iguais, uma vez que foram dimensionados tendo em conta o mesmo coeficiente de segurança cerca de 1/6 da tensão de rotura do material.

4 Desenvolvimento de um novo cilindro hidráulico

4.1 Desenvolvimento do produto

O processo de desenvolvimento de um novo modelo é uma sequência de etapas e actividades, sendo estas detalhadas e definidas de uma maneira precisa numa fase de projecto.

O processo de desenvolvimento de um novo modelo ou produto deve ser bem definido pelas seguintes razões: controlo de qualidade (nas diferentes fases de desenvolvimento o modelo passará por um controlo apertado), coordenação entre as diferentes equipas criadas, planeamento dos objectivos a serem atingidos, correcta gestão obtendo várias referências durante as diferentes fases que provem isso mesmo, identificar oportunidades de melhoria.

Na generalidade o desenvolvimento dum novo produto assenta em seis fases principais (Karl T.Ulrich, 2004, Product Design and Development): **planeamento, desenvolvimento do conceito, sistemas de design do modelo ou arquitectura do modelo, projecto detalhado, testes do modelo e produção em massa.**

O planeamento é normalmente referido como a fase 0, sendo a meta a atingir nesta fase a definição do caminho a seguir em toda a concepção do novo modelo permitindo chegar aos objectivos finais. Por sua vez o desenvolvimento do conceito do modelo identifica a sua funcionalidade e as razões que levaram ao seu desenvolvimento. Os sistemas de design inclui a arquitectura do modelo e a sua decomposição nos seus subconjuntos nesta fase já se deverá ter uma geometria criada assim como se procederá posteriormente à sua montagem. O design detalhado abrange todas as especificações da geometria assim como respectivas tolerâncias e materiais a utilizar nos diferentes componentes. Na penúltima fase testes do modelo podem ser feitos ensaios a protótipos criados simulando numa maneira muito próxima da final testando eventuais novos métodos no processo de fabrico, por último temos a sua produção em massa.

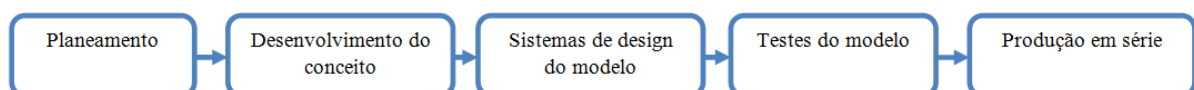


Figura 18-Etapas de desenvolvimento e concepção dum novo modelo

Phase 0: Planning	Phase 1: Concept Development	Phase 2: System-Level Design	Phase 3: Detail Design	Phase 4: Testing and Refinement	Phase 5: Production Ramp-Up
<p>Marketing</p> <ul style="list-style-type: none"> • Articulate market opportunity. • Define market segments. 	<ul style="list-style-type: none"> • Collect customer needs. • Identify lead users. • Identify competitive products. 	<ul style="list-style-type: none"> • Develop plan for product options and extended product family. • Set target sales price point(s). 	<ul style="list-style-type: none"> • Develop marketing plan. 	<ul style="list-style-type: none"> • Develop promotion and launch materials. • Facilitate field testing. 	<ul style="list-style-type: none"> • Place early production with key customers.
<p>Design</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consider product platform and architecture. • Assess new technologies. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigate feasibility of product concepts. • Develop industrial design concepts. • Build and test experimental prototypes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generate alternative product architectures. • Define major subsystems and interfaces. • Refine industrial design. 	<ul style="list-style-type: none"> • Define part geometry. • Choose materials. • Assign tolerances. • Complete industrial design control documentation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reliability testing. • Life testing. • Performance testing. • Obtain regulatory approvals. • Implement design changes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluate early production output.
<p>Manufacturing</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identify production constraints. • Set supply chain strategy. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimate manufacturing cost. • Assess production feasibility. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identify suppliers for key components. • Perform make-buy analysis. • Define final assembly scheme. • Set target costs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Define piece-part production processes. • Design tooling. • Define quality assurance processes. • Begin procurement of long-lead tooling. 	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitate supplier ramp-up. • Refine fabrication and assembly processes. • Train work force. • Refine quality assurance processes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Begin operation of entire production system.
<p>Other Functions</p> <ul style="list-style-type: none"> • Research: Demonstrate available technologies. • Finance: Provide planning goals. • General Management: Allocate project resources. 	<ul style="list-style-type: none"> • Finance: Facilitate economic analysis. • Legal: Investigate patent issues. 	<ul style="list-style-type: none"> • Finance: Facilitate make-buy analysis. • Service: Identify service issues. 		<ul style="list-style-type: none"> • Sales: Develop sales plan. 	

Figura 19-Seis fases de desenvolvimento generalizado dum novo produto (Karl T.Ulrich, 2004, Product Design and Development)

Na concepção dum novo produto é frequente fazer um estudo no mercado de produtos existentes com a mesma funcionalidade daquele que está a ser desenvolvido **benchmarking**.

O Benchmarking tenta encontrar no mercado produtos semelhantes e a partir destes conseguir identificar eventuais falhas e melhorias que possam ser implementadas no novo modelo de modo a torna-lo mais competitivo e melhorar a sua performance.

4.1.1 Desenvolvimento específico para os cilindros hidráulicos

Para o desenvolvimento dum novo modelo para os cilindros hidráulicos das quinadoras foram seguidos um conjunto de etapas como foi referido no início do capítulo.

Na fase de planeamento do produto (designada como fase 0) foi feita tendo em conta que se pudesse no final chegar a um novo modelo que nos garantisse um desempenho pelo menos igual aos usados actualmente e que os níveis de segurança eram garantidos para os utilizadores das quinadoras.

Na fase de desenvolvimento dum novo conceito dos cilindros identificou-se o porquê deste desenvolvimento, isto é a necessidade de standardizar e modularizar e quais as vantagens que isso traria para a actividade da empresa, foram feitos cálculos para nos ajudar a perceber qual a gama que seria abrangida, especificações de funcionamento dos cilindros e verificação das tensões a que estariam sujeitos para uma pressão de dimensionamento.

Os sistemas de design incluíram uma modelação da nova proposta no software de CAD Solid Edge, no final desta etapa já conseguimos ter uma ideia muito próxima do modelo final e dos mais variados componentes que lhe estariam associados na sua montagem, como por exemplo o número de vedantes e cintas de guiamento e uma aproximação do número e tipo de parafusos.

O design detalhado inclui uma especificação dos tipos de materiais que irá ser usado neste caso para o corpo do cilindro e haste, um aço ao carbono Ck45 enquanto para as tampas inferior e superior um aço ao carbono St52. Nesta fase de desenvolvimento já se tem ideia do diâmetro dos vedantes a ser usados no conjunto hidráulico e ver se existem no mercado diâmetros compatíveis com os calculados.

Um dos outros outputs nesta fase é o processo e tempos fabrico a ser utilizados nos mais variados componentes (haste, tampas superior, tampa inferior e corpo do cilindro).

Os testes do novo modelo passaram sobretudo pela simulação por elementos finitos para o desempenho a nível estrutural, tentando aproximar-se o mais possível da realidade, este tema de simulação será abordado com mais pormenor mais à frente neste capítulo.

De referir ainda que no início deste processo generalizado de desenvolvimento foi feita uma pesquisa extensiva dos modelos existentes no mercados sobretudo aqueles que são utilizados nas quinadoras.

Esta pesquisa foi fundamental, porque foi através dela que decidimos avançar para a proposta do novo modelo.

O benchmarking foi feito usando como ferramenta de pesquisa a internet, sendo pesquisado informações relativas aos cilindros hidráulicos usados pelos concorrentes directos da empresa no mercado internacional no fabrico de quinadoras.

Esta pesquisa revelou-se inconcludente uma vez que a informação disponível na internet é muito escassa em relação à geometria e princípio geral de funcionamento dos cilindros usados pelos fabricantes de quinadoras. A única informação a que tivemos acesso relacionada com os cilindros hidráulicos foi ao curso máximo e a força de avanço.

Numa segunda fase do benchmarking foi feita uma pesquisa de vários fabricantes de cilindros hidráulicos usados em diferentes aplicações industriais.

Desta segunda fase podemos chegar a uma conclusão comum quanto à geometria convencional usada pelos fabricantes em todo o mundo.



Figura 20-cilindros fabricados pela Vega (italiana)

A geometria dum cilindro hidráulico convencional caracteriza-se por dois corpos com forma rectangular na parte superior e inferior com parafusos para se fixar a uma base um corpo cilíndrico onde anda a o conjunto haste+êmbolo e pela colocação de tirantes que garantem a concentricidade do actuador para que não haja deslocamentos durante o seu funcionamento.

Os cilindros na figura trabalham a uma pressão que pode ir até ao 240 bar, tendo este fabricante diferentes diâmetros de haste e comprimento de curso disponível.

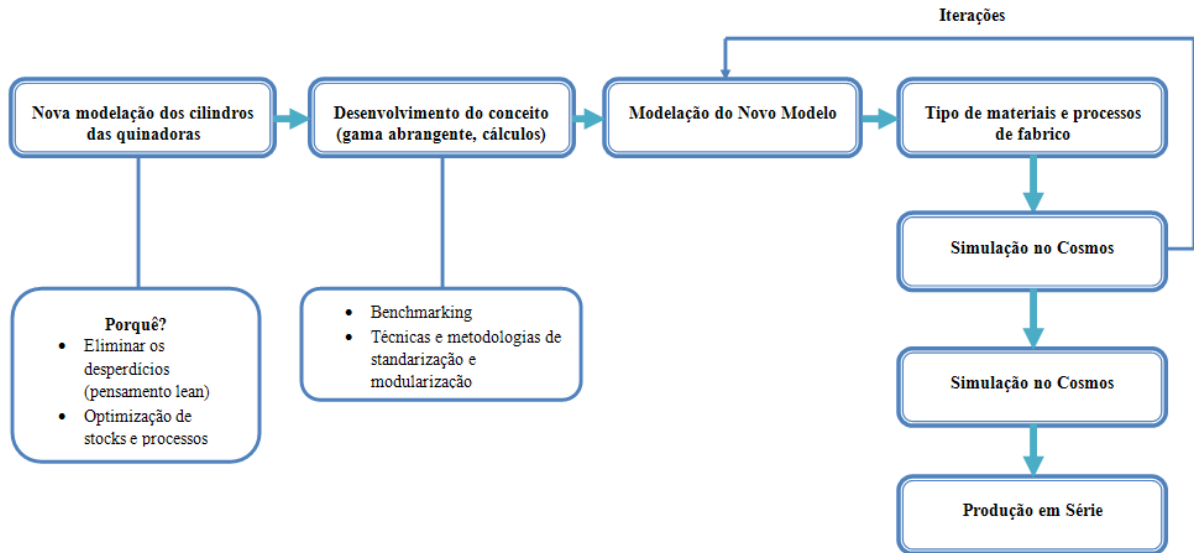


Figura 21-Esquema da metodologia seguida no novo modelo dos cilindros hidráulicos das quinadoras

A figura 19 mostra as diferentes fases na modelação dum novo modelo de cilindros hidráulicos para quinadoras, com base nas seis etapas de desenvolvimento dum novo produto, sendo igualmente descrito algum dos procedimentos e razões que levaram ao desenvolvimento de um novo modelo dos cilindros.

4.2 Gama de quinadoras a abranger

Depois de uma primeira familiarização com os procedimentos a ter em conta nos processos de standardização e normalização, foi feita tendo em conta as limitações físicas do material e funcionamento geral dos cilindros hidráulicos a sua standardização para uma determinada gama.

Inicialmente como já foi referido limitou-se a gama seleccionada para cilindros com uma capacidade de 110 toneladas sendo estes usados em quinadoras com uma força de quinagem de 220 toneladas.

Tendo em conta o benchmarking feito e os cálculos de espessura admissíveis das paredes do cilindro escolheu-se a gama abrangente da standardização e modularização dos cilindros.

O novo modelo que será descrito mais pormenorizadamente no item seguinte, é constituído por duas tampas superior e inferior (conjunto standardizado), com um corpo cilíndrico entre estas que determinará o curso do actuador – modularização e dois tirantes na zona mais afastada do montante da máquina para garantir que não havia deslocamentos e que a concentricidade entre as tampas e o corpo cilíndrico.

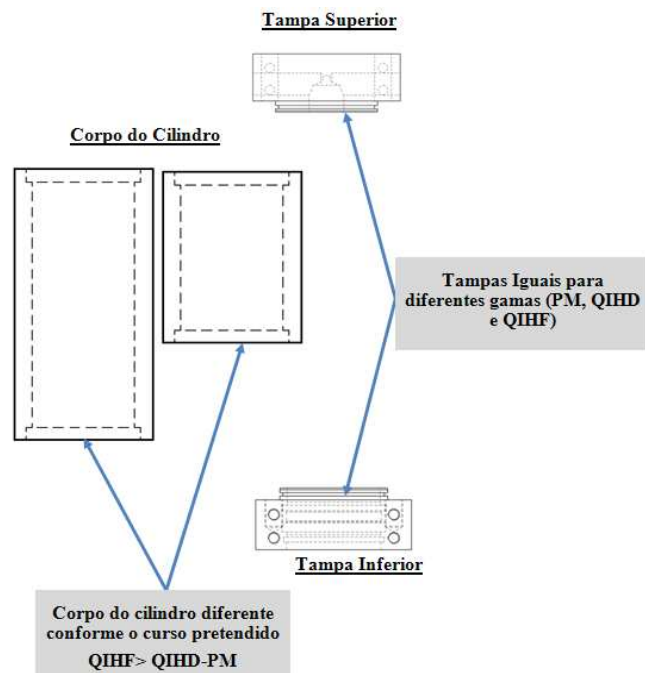


Figura 22-Standardização da Tampa Inferior e Superior e Modularização do Corpo do Cilindro

Foram consideradas nesta fase de desenvolvimento duas gamas possíveis a abranger uma primeira que incluía todas as quinadoras do tipo QIHD e QIHF com capacidade de 50 e 80 toneladas, e as quinadoras com força de quinagem compreendidas entre 110 e 200 toneladas.

A segunda opção seria abranger para cada tonelagem específica 50, 80, 110, 160, 175 e 200 toneladas alguns componentes para a quinadoras do tipo QIHD e QIHF (figura 20).

Nas tabelas seguintes (tabela 4 e tabela 5) aparecem as gamas abrangidas, isto é na 1ª iteração temos apenas duas cores (cinzento e verde) o que significa uma gama abrangida dividida em

dois conjuntos, por sua vez na 2ª iteração temos cinco cores não sendo tão abrangente como a primeira sendo por isso o número de referências maior.

1ª iteração

Tabela 4-Dimensões 1ª iteração

Gama	Diâmetro do êmbolo (mm)	Diâmetro da Haste (mm)	Diâmetro do Corpo Cilíndrico (mm)	Largura das Tampas (mm)	Curso máximo (mm)
QIHD-5020	110	105	150	222	160
QIHD-8025	160	153	176	222	160
QIHF-5020	110	105	150	222	160
QIHF-8025	160	153	176	222	160
QIHD-11030	160	153	222	325	160
QIHD-16030	190	180	258	325	160
QIHD-20040	220	210	292	325	200
QIHF-11030	160	153	222	325	300
QIHF-17540	200	190	292	325	300

Considerou-se as hastes dimensionadas conforme a força para cada tonelagem e consequentemente o diâmetro exterior uma vez que a sua dimensão depende directamente do diâmetro do êmbolo como se pode constatar na fórmula de Bach referida anteriormente.

Para a gama de 50 toneladas e 80 toneladas considerou-se um conjunto de tampas inferior e superior idênticas sendo a sua dimensão de 222 x222 mm, assim como para 110,160 e 200 toneladas com 325x325 mm.

Do ponto de vista da standardização esta seria a hipótese mais interessante e aquela onde eventualmente se atingiria maior optimização de custos e processos, contudo tecnicamente não nos pareceu viável esta primeira iteração

Por exemplo ao standarizar as tampas de um cilindro para uma QIHD-11030 teríamos um corpo cilíndrico com um diâmetro de 222 mm duas tampas superior e inferior com 325 mm de largura isto implicava um peso muito maior fixo ao montante da estrutura assim como que teríamos uma tampa com uma largura muito grande para um corpo cilíndrico com um diâmetro muito menor.

2ª iteração

Na 2ª iteração optou-se por uma tampa específica para cada tonelagem, isto é por exemplo para uma quinadora de 110 toneladas de força de quinagem para chapas de 3m seria as mesmas tampas para uma QIHD e QIHF mudando o corpo cilíndrico que determina o curso.

Foi feito então um novo dimensionamento mecânico de todos os componentes tentando chegar a um compromisso razoável para todas as gamas a standardizar

Tabela 5-Dimensões 2ª iteração

Gama	Diâmetro do êmbolo (mm)	Diâmetro da Haste (mm)	Diâmetro do Corpo Cilíndrico (mm)	Largura das Tampas (mm)	Curso máximo (mm)
QIHD-5020	110	105	150	210	160
QIHF-5020	110	105	150	210	200
QIHD-8025	160	153	217	260	160
QIHF-8025	160	153	217	260	200
QIHD-11030	160	153	217	260	160
QIHF-11030	160	153	217	260	300
QIHD-16030	190	180	258	300	160
QIHD-20040	220	210	292	325	200
QIHF-17540	200	193	272	305	300

Esta iteração apesar de não ser tão abrangente e não conseguir eliminar o excesso de stocks e os custos a eles associados que a primeira iteração eventualmente conseguia, não deixa de ser uma proposta interessante uma vez que se poderia standardizar as tampas de cada tonelagem mudando apenas o corpo cilíndrico intermédio conforme o curso pretendido.

Pareceu-nos uma proposta a nível técnico mais exequível que a 1ª iteração inicialmente proposta. Foi a partir desta que se desenvolveu e analisou a tentativa de implementar um novo modelo com uma geometria diferente da usada actualmente no accionamento hidráulico das quinadoras

4.3 Princípio de funcionamento do novo modelo

Depois do dimensionamento mecânico, passou-se então à modelação dos novos cilindros e todos os componentes que lhe estão associados.

Os novos cilindros são constituídos por uma tampa superior (3) e inferior (1) fixas por intermédio de parafusos previamente calculados ao montante da máquina, tendo entre eles um corpo cilíndrico (2) com a espessura necessária para garantir que um bom desempenho do actuador, dentro deste corpo temos a haste (5) que vai ser fixa ao avental móvel com uma área de embolo muito maior em relação à área anelar, tal como acontecia no modelo anterior. Por último destacamos os tirantes (4) dimensionados conforme a força requerida por cada cilindro roscados na tampa inferior e fixos na tampa superior por intermédio de duas fêmeas.

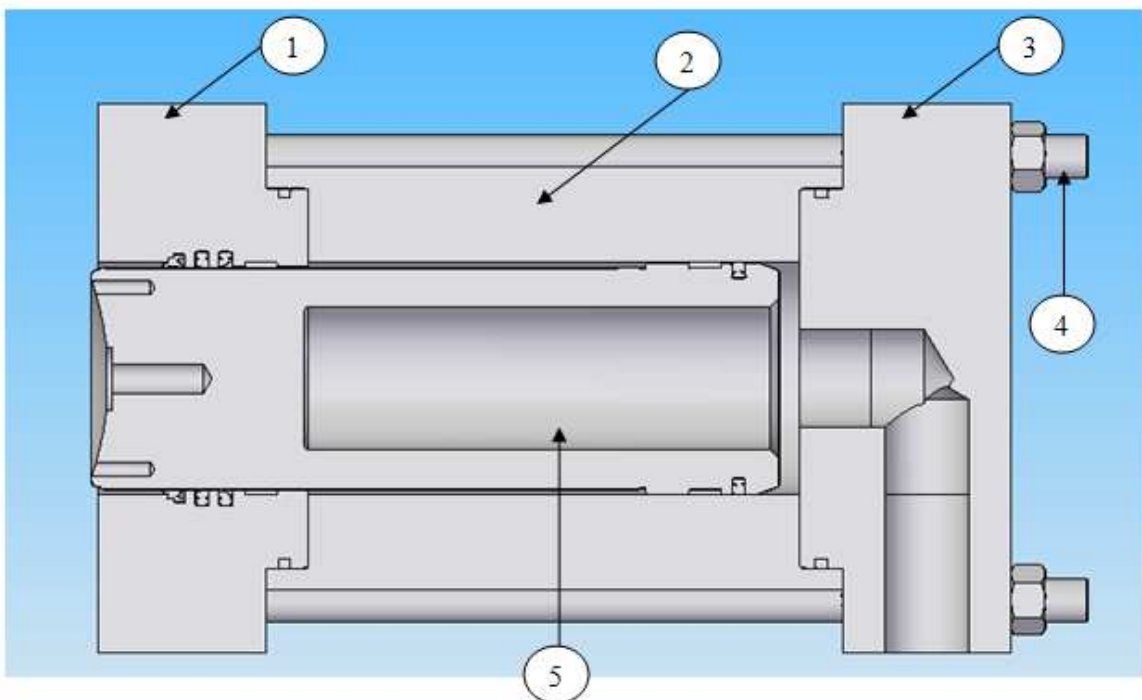


Figura 23-Vista em corte do novo modelo para uma quinadora de 110 toneladas

1-Tampa Inferior do Cilindro; 2-Corpo do Cilindro; 3-Tampa Superior do Cilindro; 4-Tirantes

A análise da figura permite-nos ver que existem muitas semelhanças com o modelo anterior, sobretudo no respeito aos elementos de vedação e guiamento que se encontram na haste exactamente com a mesma disposição usada actualmente.

Destaca-se a colocação nas tampas de dois vedantes o-ring para garantir que o óleo não passe por estas, neste caso não será necessária a colocação dum freio interior uma vez que a tampa inferior garante que a haste no avanço não saia de dentro do corpo cilíndrico.

A alimentação do óleo é feito através dum canal na tampa superior que faz deslocar a haste no avanço com o curso pretendido. A altura do corpo cilíndrico está inteiramente relacionado com o curso, no caso da figura acima trata-se dum cilindro para uma quinadora de 110 toneladas com um curso de 160 mm usado habitualmente nas QIHD, contudo numa QIHF o curso pode ir até aos 300 mm o que faz aumentar o comprimento do corpo e

consequentemente da haste. Uma outra diferença neste novo modelo é que habitualmente nas QIHF o canal de óleo encontra-se na parte superior enquanto agora a alimentação passará a ser feita lateralmente pela tampa superior (na parte direita ou esquerda conforme a disposição do cilindro).

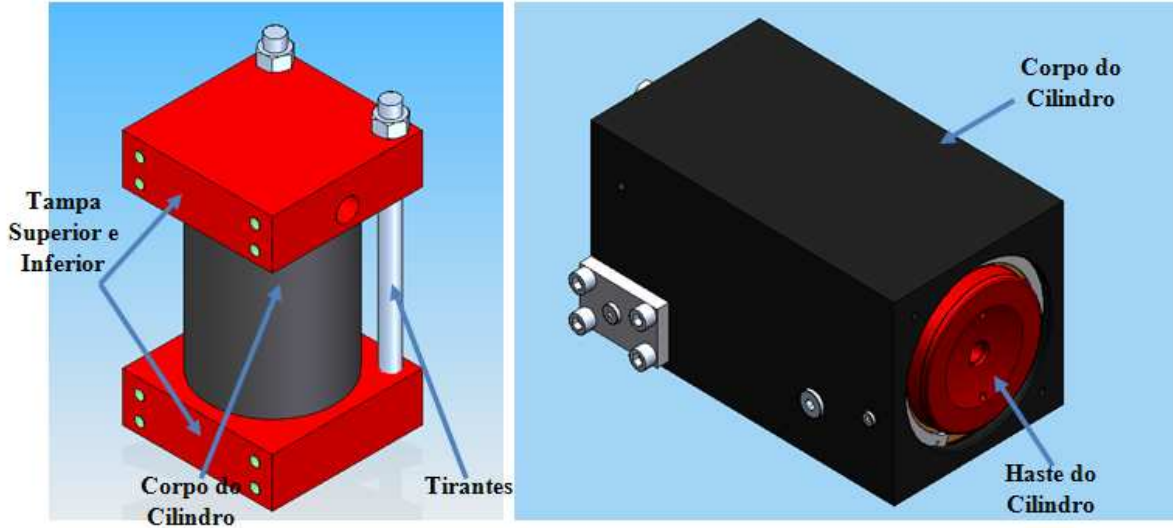


Figura 24-Comparação da geometria do novo modelo com o modelo actual

4.3.1 Dimensionamento dos Parafusos de Amarração ao Montante

A pressão de esmagamento na zona de encosto do cilindro considerando um aço St37 com as seguintes características $\sigma_{rot}=350$ MPa e $\sigma_{ced}=235$ MPa deve ser igual ou menor a 100 MPa.

$$Pe = \frac{F_{cilindro}}{a \times l} \leq 100 \text{ MPa} \quad (\text{Equação 11})$$

Sendo a força dos cilindros excêntrica em relação ao encosto dos cilindros com o montante da quinadora, vai ser gerado um momento que será equilibrado pelas ligações aparafusadas sendo o momento gerado (equação 12) igual a:

$$M_{gerado} = F_{cilindro} \times b \quad (\text{Equação 12})$$

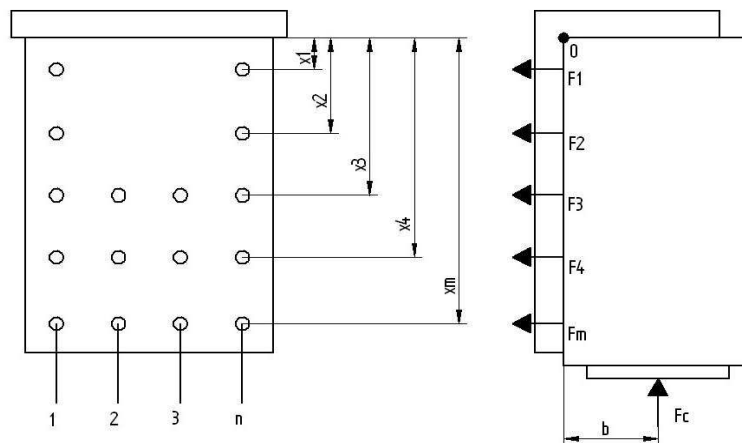


Figura 25-Representação genérica das ligações aparafusadas de um cilindro hidráulico

$$M_{gerado} - (F_1x_1 + F_2x_2 + F_3x_3 + \dots + F_mx_m) = 0 \Leftrightarrow M_{gerado} - \sum_{i=1}^m F_mx_m = 0 \quad (\text{Equação 13})$$

Aplicando a Lei de Hooke (equação 14) para o cálculo da força de um parafuso:

$$F_p = \sigma \cdot A = E \cdot \varepsilon \cdot A = E \cdot A \cdot \frac{\Delta l_{xm}}{l_i} \quad (\text{Equação 14})$$

Considerando a deformação nos parafusos proporcionais ao seu deslocamento (equação 15) em relação à distância do eixo de rotação do cilindro

$$\Delta l_{xm} = k_{xm} \quad (\text{Equação 15})$$

Sendo a força resultante (equação 16) em cada linha de parafusos:

$$F_{xm} = \frac{k \cdot E \cdot A}{l_i} \cdot x_m \quad \text{(Equação 16)}$$

Substituindo na equação 12 vem:

$$M_{gerado} - \frac{k \cdot E \cdot A}{l_i} * \sum_{i=1}^m x_m^2 = 0 \Leftrightarrow \frac{k \cdot E \cdot A}{l_i} = \frac{M_{gerado}}{\sum_{i=1}^m x_m^2} = \frac{F_{cilindro} \cdot b}{\sum_{i=1}^m x_m^2} \quad \text{(Equação 17)}$$

A força exercida por cada parafuso (equação 18) será dada por:

$$F_{p, x_m} = \frac{F_{xm}}{n_{p, x_m}} = \frac{\frac{k \cdot E \cdot A}{l_i} \cdot x_m}{n_{p, x_m}} ; \quad \text{(Equação 18)}$$

Em que n_p, x_m representa o número de parafusos em cada linha de amarração

Nas tabelas apresentadas de seguida são apresentados os passos descritos para a selecção correcta do diâmetro de parafuso a usar para uma QIHD-11030, com um capacidade de 110 toneladas de quinagem e consequentemente uma força por cilindro de 55 toneladas.

Tabela 6-Cálculo de parafusos de amarração para QIHD-11030

Forças dos parafusos		Distância dos parafusos	
Xm²	0,2805	X1 (m)	0,025
Fp, x1 (daN)	318,64	X2 (m)	0,072
Fp, x2 (daN)	917,69	X3 (m)	0,383
Fp, x3 (daN)	4881,60	X4 (m)	0,423
Fp, x4 (daN)	5391,43		

Parafusos de amarração	
Força cilindro (N)	550000
b (mm)	130
l (mm)	260
Pressão esmagamento (MPa)	100
a(mm)	21,2
Momento Flector (N.m)	7,15E+04
Parafuso Seleccionado	M20
Modulo Young (MPa)	2,11E+11
Comprimento parafuso (mm)	30
Capacidade parafuso (daN)	8559

4.3.2 Dimensionamento dos tirantes

Os tirantes foram dimensionados considerando-os à tracção (equação 19) conhecendo a força a que estariam sujeitos, retirou-se a área e consequentemente o seu diâmetro.

Considerando os tirantes como um corpo de secção circular com um determinado comprimento l , com uma tensão normal característica do material de 160 MPa.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad F = \frac{\varepsilon \cdot A \cdot E}{l} \quad (\text{Equação 19})$$

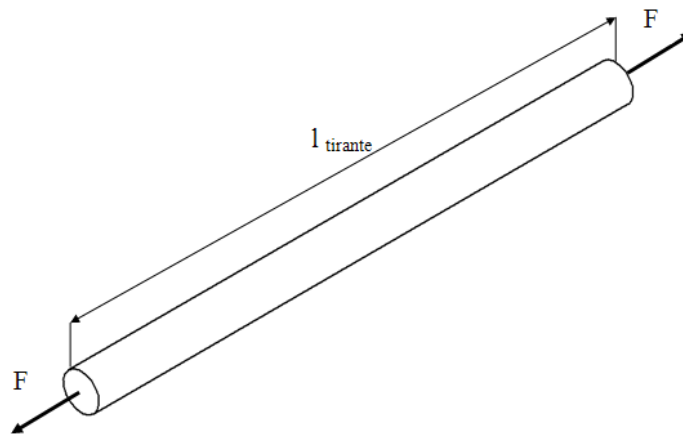


Figura 26-Tirantes à tracção

σ - Tensão do material

A - Área do tirante

l - Comprimento do tirante

E – Módulo de Young

ε – Deformação no tirante

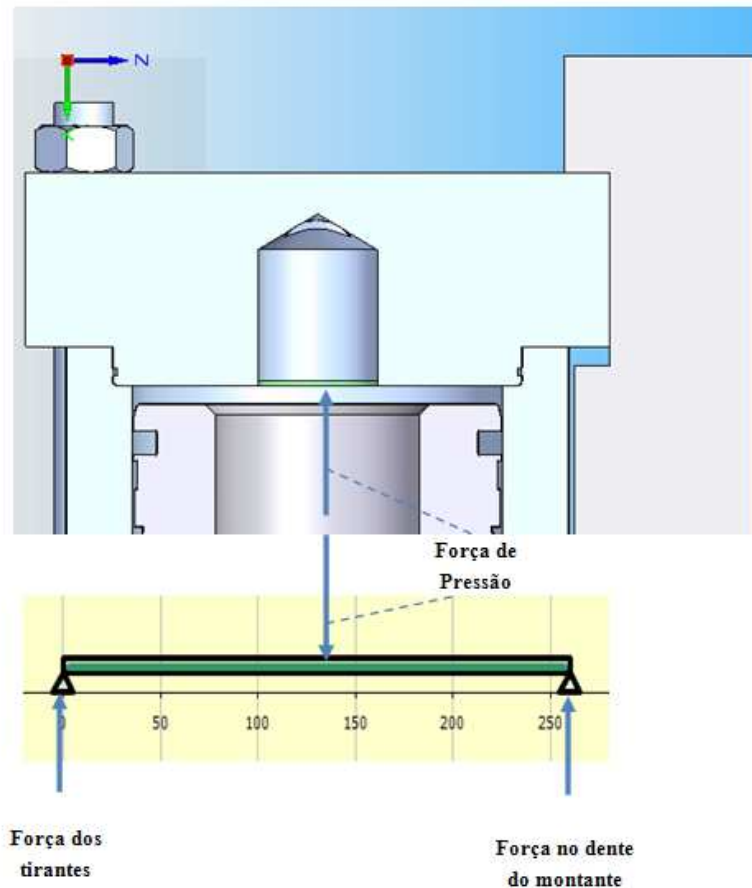


Figura 27-Consideração de uma viga com dois apoios simples na tampa superior do cilindro

Para chegar a um valor aproximado da força nos tirantes de uma forma rápida considerou-se uma força resultante da pressão interior no corpo do cilindro na área da tampa, sendo essa pressão de 300 bar. A área de contacto será a mesma do êmbolo isto é quanto maior for a área da superfície interior da tampa, maior será a força de afastamento provocada na tampa fazendo com que o deslocamento neste componente seja maior.

Conhecida esta força de afastamento resultante da pressão interior, considerou-se mais uma força de reacção na zona do batente do montante com direcção oposta à primeira.

Calculou-se a força dos tirantes considerando então o conjunto como uma viga com dois apoios simples nas suas extremidades com um comprimento igual ao da tampa.

A força dos tirantes a que se chegou foi dividida por quatro sendo depois em função da força e da tensão característica ser possível chegar a uma aproximação com alguma segurança para o diâmetro final dos tirantes.

Tabela 7-Valores dos diâmetros dos tirantes considerando forças de 50 e 110 toneladas

50Toneladas		110 Toneladas	
Pressão de trabalho (bar)	300.00	Pressão de trabalho (bar)	300.00
Área êmbolo (mm ²)	9503.32	Área êmbolo (mm ²)	20106
Diâmetro do êmbolo (mm)	110	Diâmetro do êmbolo (mm)	160
Força de Pressão (N)	285100	Força de Pressão (N)	603186
Força por tirante (N)	35637	Força por tirante (N)	75398.22
Tensão admissível do material (Pa)	1.60E+08	Tensão admissível do material (Pa)	1.60E+08
Diâmetro do tirante (mm)	17	Diâmetro do tirante (mm)	24.45
Área (m ²)	222.73	Área (m ²)	471.24
Deformação (mm)	0.21	Deformação (mm)	0.21
E- Módulo Young (Pa)	2.10E+11	E- Módulo Young (Pa)	2.10E+11
Comprimento do tirante (m)	273	Comprimento do tirante (m)	273

Tabela 8-Valores dos diâmetros dos tirantes considerando forças de 160 e 220 toneladas

160 Toneladas		200 Toneladas	
Pressão de trabalho (bar)	300.00	Pressão de trabalho (bar)	300.00
Área êmbolo (mm ²)	28353	Área êmbolo (mm ²)	38013
Diâmetro do êmbolo (mm)	190	Diâmetro do êmbolo (mm)	220
Força de Pressão (N)	850586	Força de Pressão (N)	1140398
Força por tirante (N)	106323	Força por tirante (N)	142550
Tensão admissível do material (Pa)	1.60E+08	Tensão admissível do material (Pa)	1.60E+08
Diâmetro do tirante (mm)	29	Diâmetro do tirante (mm)	33,7
Área (m ²)	664.5	Área (m ²)	891
Deformação (mm)	0.21	Deformação (mm)	0.27
E- Módulo Young (Pa)	2.10E+11	E- Módulo Young (Pa)	2.10E+11
Comprimento do tirante (m)	273	Comprimento do tirante (m)	358

Depois destes cálculos foi consultada uma tabela com os valores normalizados de tirantes disponíveis no mercado.

4.3.3 Cálculo Estrutural da nova proposta de cilindros hidráulicos

Através da análise estrutural por elementos finitos tentou-se verificar se a proposta do novo modelo de cilindros hidráulicos garantia todos os parâmetros de segurança tendo em conta vários critérios e condições fronteira que tentavam aproximar a simulação o mais possível do funcionamento real dum cilindro hidráulico para uma quinadora.

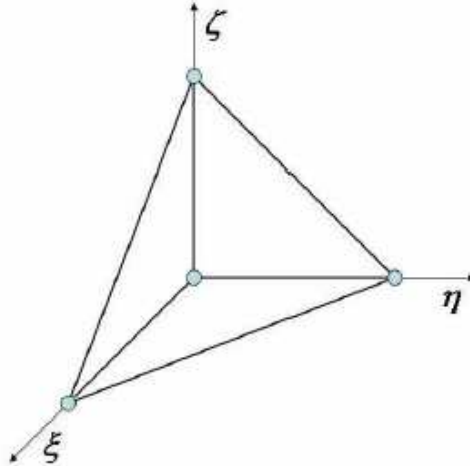


Figura 28-Malha tetraédrica

O tipo de malha usado no cosmos foi tetraédrica de 4 nós, este tipo de malha é aquela que nos permite obter melhores resultados para as mais diversas geometrias. Foi usada uma malha idêntica em todas as simulações para que os resultados obtidos tivessem alguma homogeneidade não levando a uma análise errada dos mesmos. A malha usada foi de 15 mm com uma tolerância de 0,75.

No cálculo estrutural considerou-se como relevante para a análise de resultados o critério de tensão Von Mises e deslocamento que o conjunto sofreria numa direcção paralela ao montante da estrutura da máquina.

O modelo foi simulado com as dimensões dos parafusos e tirantes calculados anteriormente considerando uma pressão no interior do corpo cilíndrico de 300 bar.

Vamos analisar o cálculo estrutural com as respectivas condições de fronteira para o caso particular dum cilindro hidráulico para ser aplicado numa quinadora da gama QIHD-11030.

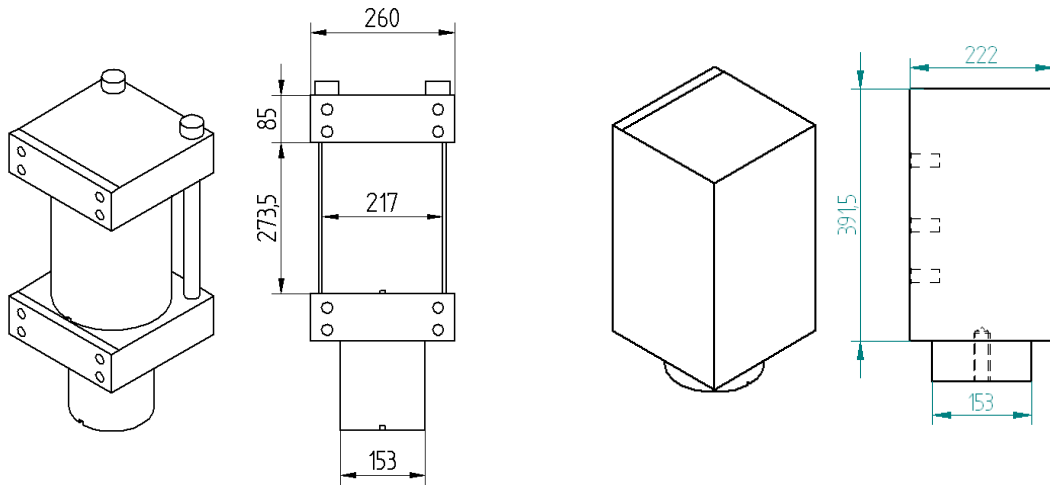


Figura 29-Dimensões do cilindro para uma QIHD-11030 para o novo modelo e o usado actualmente

O material utilizado no Cosmos foi o AISI 1020 cujas características principais aparecem descritas na tabela seguinte:

Tabela 9- Características do material seleccionado no Cosmos

Material	Módulo de elasticidade	Coefficiente de Poisson	Densidade (kg/m ³)	Tensão de Cedência (MPa)
AISI 1020	2,1E11	0,29	7900	351,571

Nova proposta para os cilindros hidráulicos das quinadoras

As condições de fronteira consideradas nos Cosmos foram as seguintes:

- Fixos nas três direcções na zona dos parafusos nas tampas inferior e superior
- Restrição na parte superior da tampa na zona do batente com o montante
- Restrição na face inferior da haste onde esta se vai fixar ao avental móvel
- Pressão no interior do corpo cilíndrico igual a 300 bar

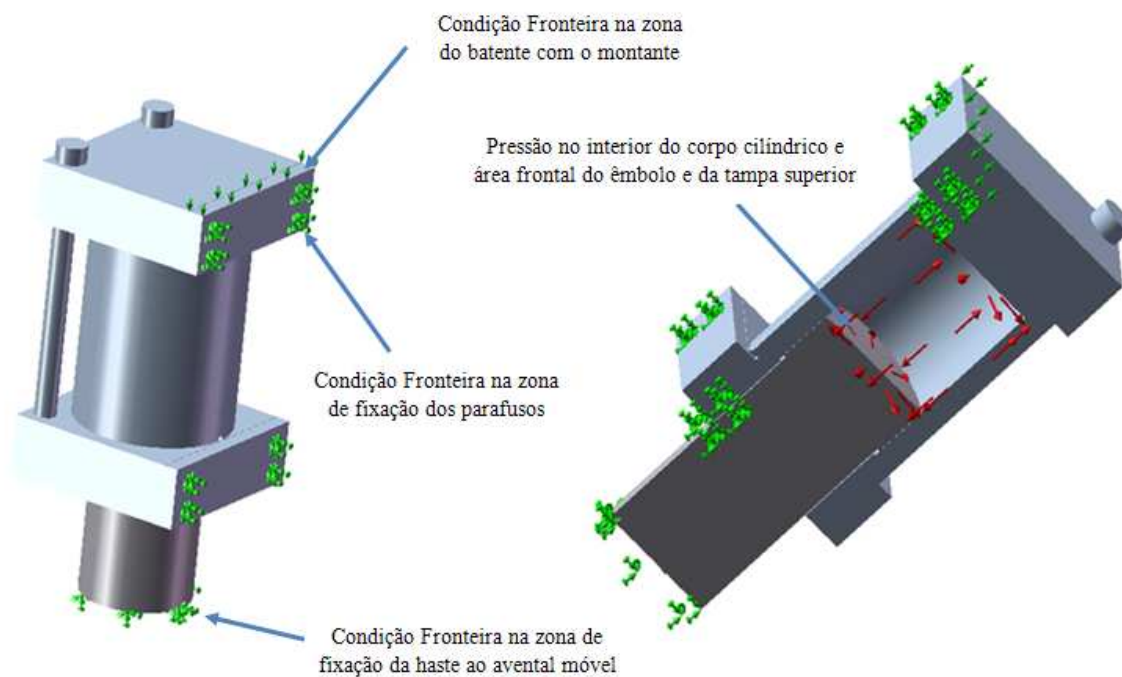


Figura 30-Condições fronteiras usadas na simulação para uma QIHD-11030

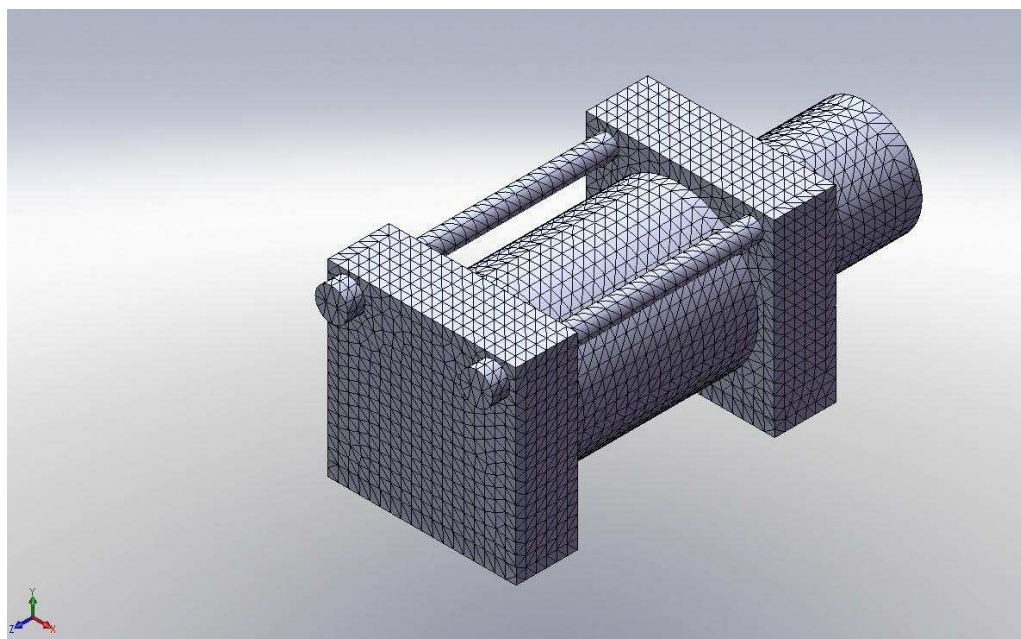


Figura 31-Cilindro Hidráulico com uma malha de 15 mm

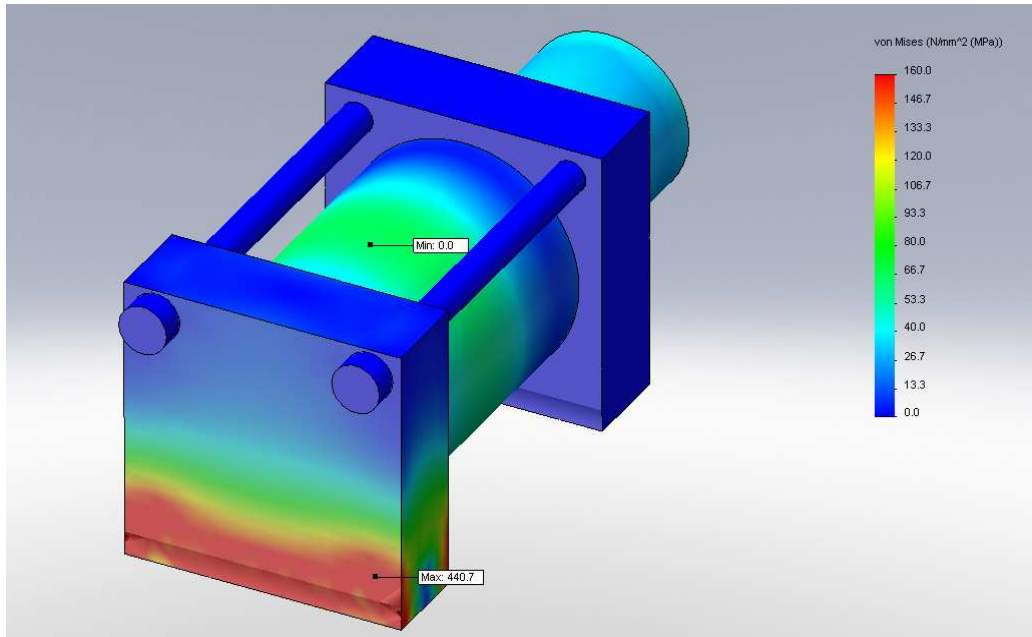


Figura 32-Tensões Von Mises no Cilindro Hidráulico para uma QIHD-11030

Constata-se que a zona de maiores tensões (Figura 30) está localizada na tampa superior sobretudo na zona do batente com o montante.

Verifica-se também que existe uma zona no corpo do cilindro em que as tensões são maiores em virtude da pressão interior do cilindro, contudo não tão elevadas como na tampa superior onde se têm uma área a vermelho considerável em relação aos restantes componentes do cilindro.

Analisando este diagrama de tensões calculados no Cosmos mostra que a tampa superior irá estar sujeita a uma elevada força de afastamento, provocada pela pressão interior na área frontal da tampa que contacta. A força de afastamento irá ser contrariada pelos parafusos que além de estarem sujeitos à tracção estão sujeitos a uma tensão de corte e pelo batente no montante da estrutura da máquina.



Gráfico 8-Valores das tensões de Von Mises ao longo do comprimento da tampa na zona do batente com o montante

Ao longo dos 260 mm de comprimento da tampa superior notamos que as maiores tensões aparecem na zona intermédia tendo como o valor máximo 217 MPa (Gráfico 9). Este valor é máximo sensivelmente a meio da tampa (cerca de 130 mm) sendo onde a força de pressão atinge o seu máximo.



Gráfico 9- Valores das Tensões ao longo do comprimento dos tirantes

As tensões ao longo dos 273 mm de comprimento dos tirantes (Gráfico 10) demonstram que a zona mais crítica não seria esta, podendo-se dizer eventualmente que o seu diâmetro e tipo de material seriam suficientes para garantir um bom desempenho com um bom coeficiente de segurança durante o funcionamento do cilindro.

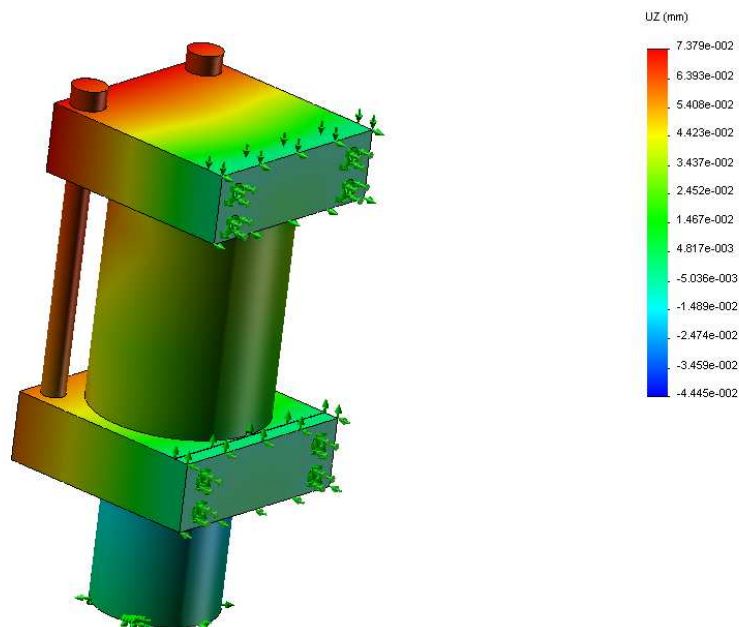


Figura 33- Deslocamentos no eixo dos zz direcção de movimento da haste

Uma dos parâmetros analisado na simulação do conjunto foi os deslocamentos a que durante o seu funcionamento estaria sujeito sobretudo na direcção de movimento da haste sendo o movimento de avanço aquele onde eventualmente os vários componentes estariam sujeitos a um deslocamento maior.

É importante para um bom funcionamento garantir que o cilindro não sofra deslocamentos consideráveis garantindo assim a estanqueidade do conjunto, deslocamentos elevados nas zonas junto às tampas superior e inferior podem provocar fugas de óleo e por em causa a segurança dos utilizadores das quinadoras.

Verifica-se que a zona de maior deslocamento encontra-se junto à tampa superior na zona de contacto com os tirantes obrigando este a trabalhar à tracção.



Gráfico 10-Valores do deslocamento na zona da tampa superior em contacto com os tirantes e corpo do cilindro.

Os valores dos deslocamentos na zona da tampa superior em contacto com o corpo do cilindro (gráfico 11), é uma de ordem de grandeza entre 0,067 mm e 0,07 mm o que nos garante uma boa estanqueidade do cilindro.

4.3.4 Cálculo estrutural do modelo actual de cilindros hidráulicos

Depois de feita simulação estrutural do novo cilindro proposto para termos uma base de comparação foi feita a simulação do modelo actual considerando as seguintes condições de fronteira:

- Fixos nas três direcções na zona dos parafusos nas tampas inferior e superior
- Restrição na parte superior da tampa na zona do batente com o montante
- Restrição na face inferior da haste onde esta se vai fixar ao avental móvel
- Pressão no interior do corpo cilíndrico igual a 300 bar
- Restrição na face superior da tampa do cilindro

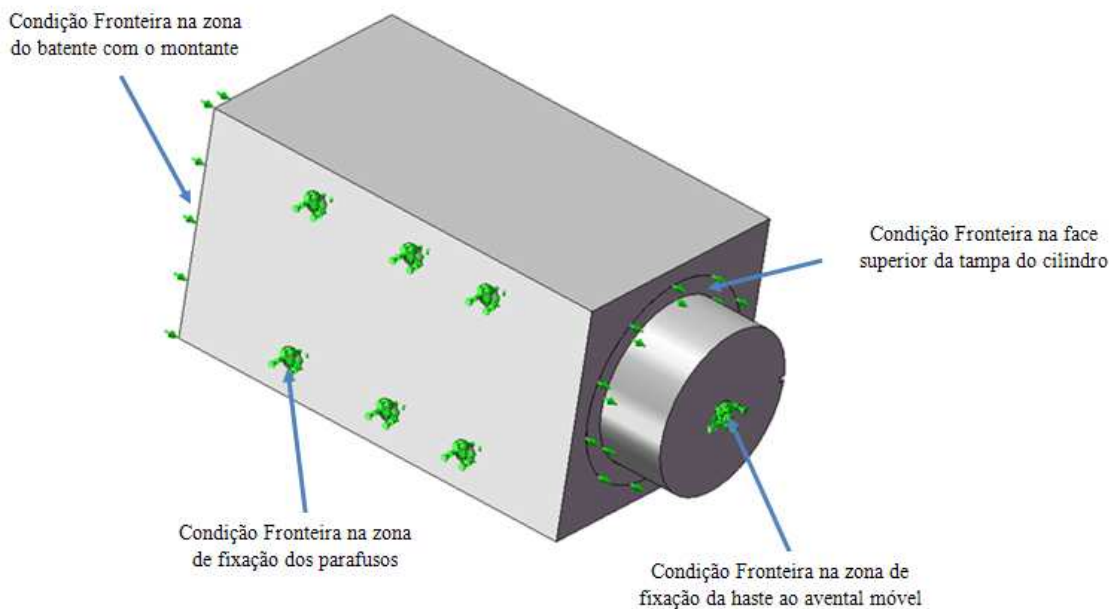


Figura 34-Condições fronteiras usadas na simulação no modelo actual dos cilindros para uma QIHD-11030

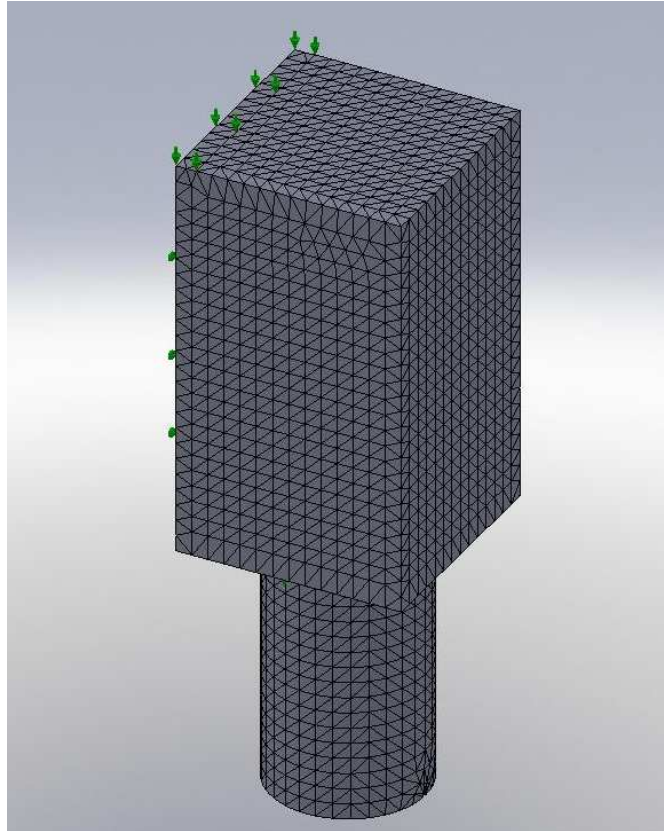


Figura 35-Malha de 15 mm na simulação estrutural de um cilindro usando actualmente numa QIHD-11030

Model name: Asm-modelo actual
Study name: Study 1
Plot type: Static nodal stress Stress1
Deformation scale: 1

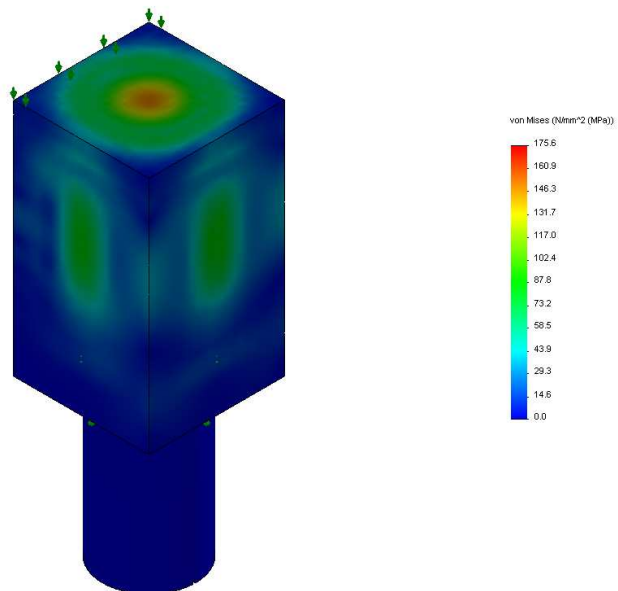


Figura 36-Tensões Von Mises no modelo actual dum cilindro hidráulico para uma QIHD-11030

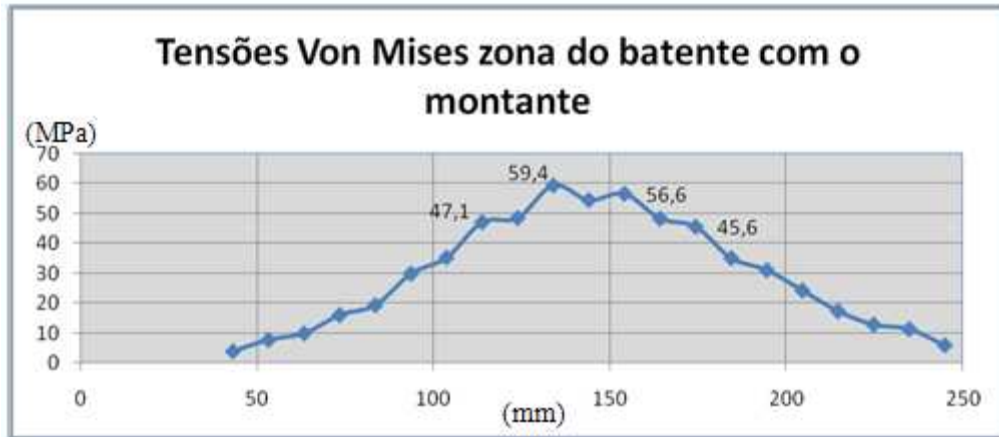


Gráfico 11- Valores das tensões de Von Mises ao longo do comprimento do corpo na zona do batente com o montante

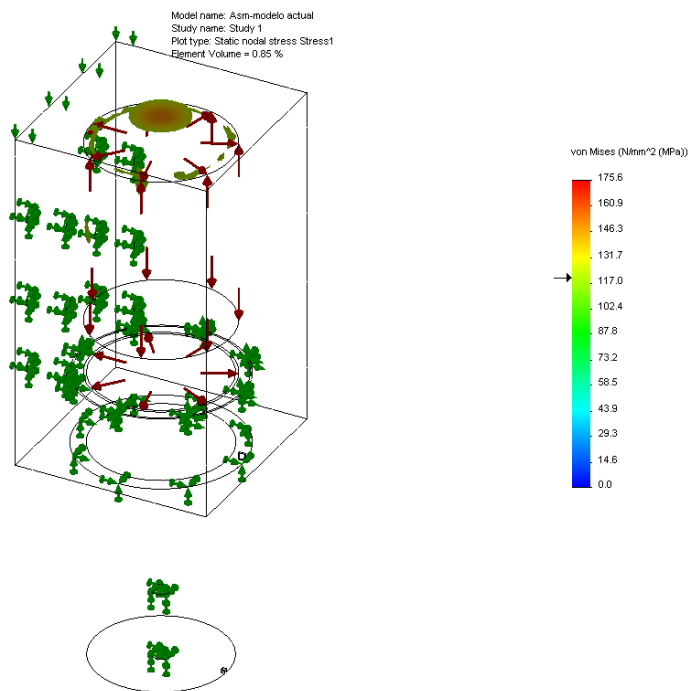


Figura 37- Volume do cilindro sujeito a uma tensão superior a 120 MPa

A nível de tensões o modelo actual é muito mais uniforme em todo o cilindro, assim como temos valores que nos dão uma maior garantia de segurança. Em comparação com modelo simulado anteriormente na zona do montante os valores são muito mais baixos sendo a tensão máxima nessa zona de 59,4 MPa.

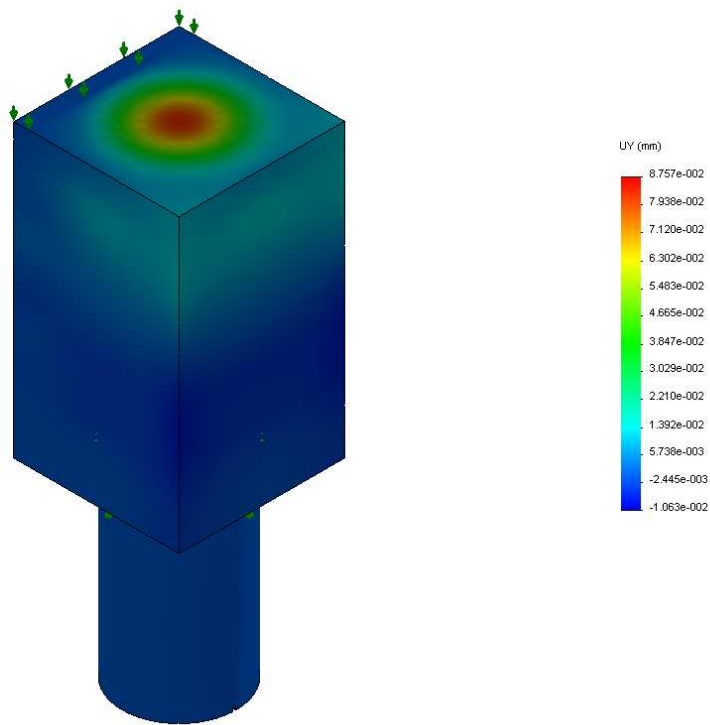


Figura 38- Deslocamentos no eixo dos yy na direção de movimento da haste

Considerando o material dos vários componentes do cilindro como um aço ao carbono Ck45 com uma tensão admissível de 360 MPa, com um coeficiente de segurança aproximadamente de 3 uma vez tratar-se de um accionamento hidráulico, a tensão que se deveria permissível seria à volta dos 120 MPa, na simulação estrutural no Cosmos para este modelo pelo critério de Tensão Von Mises chegamos a um resultado que nos diz que apenas 0,85% do volume total do cilindro está sujeita a essa tensão (Figura 36), dando assim garantias de um bom desempenho e respeitando os requisitos mínimos de segurança.



Gráfico 12-Valores para o deslocamento na face superior do corpo na direcção de movimento da haste

Os valores obtidos para o deslocamento do cilindro hidráulico na direcção de movimento da haste, revelam um valor máximo na face superior do corpo do cilindro contudo os valores desses deslocamentos, com uma ordem de grandeza das centésimas de milímetro não afectam o funcionamento geral do cilindro nem põe em risco a segurança do conjunto.

Conclui-se então pelos resultados obtidos que o modelo actual garante-nos um melhor desempenho a nível estrutural em relação ao novo modelo proposto. O facto deste último não ser tão rígido entre os diferentes componentes dá-nos alguma incerteza quanto ao seu desempenho.

Apesar de os ganhos em termos da standardização e modularização do novo modelo para os cilindros das quinadoras nos pode trazer, tecnicamente poderá não ser uma solução viável, sendo que a solução deverá passar por um modelo com uma geometria e princípio de funcionamento muito idêntico ao actualmente usado.

4.3.5 Análise de Custos do novo modelo

Para além da análise estrutural desta proposta foi feita uma outra análise que é um factor determinante na implementação dum novo modelo de cilindros hidráulicos a análise do custo industrial.

A análise do custo industrial teve como base o modelo actual e tentar fazer uma estimativa mais ou menos coerente do novo processo industrial e das principais diferenças em relação aos cilindros usados actualmente.

Numa primeira fase fez-se um levantamento do processo de fabrico para os cilindros hidráulicos, dos custos de operações e dos custos materiais.

Foram analisados apenas os componentes que sofreriam alterações no novo modelo como o corpo do cilindro que seria substituído por um corpo de forma circular e a tampa do cilindro actual que no novo modelo teria uma geometria bastante diferente da actual.

Custos operação para uma QIHD-11030

Corpo do cilindro Actual

Tabela 10-Processo de fabrico para o corpo do cilindro numa QIHD-11030

Operação	Descrição da tarefa	Tempo Operação [min]	Valor líquido (€)
10	Serrar	1	0,3
20	Maquinar (Plaina)	215	65,1
30	Tornear	210	91,3
40	Maquinar (centro maq.)	150	59,4
50	Rectificar cilindros	195	80,8
70	Serralharia	120	36,4
80	Inspeção e ensaios	1	0,3
Total		892	333,6

Tampa do cilindro Actual

Tabela 11-Processo de fabrico para a tampa do cilindro numa QIHD-11030

Operação	Descrição da tarefa	Tempo Operação [min]	Valor líquido (€)
10	Serrar	1	0,3
20	Tornear	135	58,7
25	Tornear	15	6,5
30	Serralharia oficina	20	6,1
40	Rectificar cilindros	120	49,7
50	Inspeção e Ensaio	1	0,3
Total		292	121,6

Haste do Cilindro

Tabela 12-Processo de fabrico para a haste do cilindro duma QIHD-11030

Operação	Descrição da tarefa	Tempo operação [min]	Valor líquido (€)
10	Serrar	1	0,3
20	Tornear	110	47,9
30	Rectificar cilindros	42,5	17,6
40	Inspeção e ensaios	1	0,3
50	Maquinação (Cromoduro)	1	27,8
70	Rectificar cilindros	97,5	40,4
80	Inspeção e ensaios	1	0,3
Total		254	134,6

Custos materiais para uma QIHD-11030

Tabela 13-Custos materiais dos principais componentes do cilindro duma QIHD-11030

Componente	Descrição	Quantidade (kg)	Valor líquido (€)
Corpo do cilindro	Aço, quadrado 220-Ck45 DIN17200	160	248
Tampa do cilindro	Aço, quadrado D220xD112-St52	15,8	22,8
Haste do cilindro	Aço, redondo 170-Ck45 DIN17200	62	42,2

Analisado o modelo actual e tido em conta as diferentes etapas actuais de produção, fez-se uma análise do possível do processo e custo industrial do modelo proposto.

Novo Corpo do Cilindro

Tabela 14- Processo de fabrico para o corpo do cilindro do novo modelo para uma QIHD-11030

Operação	Descrição da tarefa	Tempo operação [min]	Valor líquido (€)
10	Serrar	1	0,3
30	Tornear	100	43,5
40	Maquinar (centro maq.)	60	23,8
50	Rectificar cilindros	85	114,4
70	Serralharia	55	16,7
80	Inspeção e ensaios	1	0,3
Total		302	198,9

Tabela 15- Custos gerais do novo corpo do cilindro

Novo Corpo do Cilindro	Custo operações + custo material (€)	403,5
	Diferença para o corpo cilindro actual (%)	-30,6%

Tampa superior do Cilindro

Tabela 16- Processo de fabrico para a tampa superior cilindro do novo modelo para uma QIHD-11030

Operação.	Descrição	Tempo Operação [min]	Valor líquido (€)
10	Serrar	1	0,3
20	Maquinar (Fresagem)	70	21,2
30	Tornear	60	26,1
40	Maquinar (Centro Maq.)	45	37,3
50	Rectificar	25	7,6
60	Serralharia oficina	15	4,5
70	Inspeção e ensaios	1	0,3
Total		217	97,3

Tampa inferior do Cilindro

Tabela 17- Processo de fabrico para a tampa inferior cilindro do novo modelo para uma QIHD-11030

Operação.	Descrição	Tempo Operação [min]	Valor líquido (€)
10	Serrar	1	0,3
20	Maquinar (Fresagem)	70	21,2
30	Tornear	100	43,5
40	Maquinar (Centro Maq.)	45	17,8
50	Serralharia oficina	15	4,5
60	Rectificar cilindros	120	49,7
70	Inspeção e ensaios	1	0,3
Total		352	137,4

Tabela 18- Custos gerais da nova tampa inferior do cilindro

Novo Tampa inferior do Cilindro	Custo operações + custo material (€)	216,2
	Diferença para a tampa do cilindro actual (%)	49,8 %

Custos materiais para novo cilindro numa QIHD-11030

Tabela 19-Custos materiais para os novos componentes do cilindro hidráulico

Componente	Descrição	Quantidade (kg)	Valor líquido (€)
Corpo do cilindro	Aço, Redondo 220-Ck45 DIN17200	132	204,6
Tampa Superior do cilindro	Aço, Quadrado 280x100 St52	54,8	78,9
Tampa inferior do cilindro	Aço, Quadrado 280x100 St52	54,8	78,9

Tabela 20-Custos gerais do novo cilindro hidráulico e diferença para o modelo anterior

Custos Gerais para QIHD-11030	
Custo actual do cilindro (€)	1168
Custo novos componentes (€)	796
Estimativa novo custo geral (€)	1238
Diferença para o modelo anterior (€)	+5,99%

Esta análise de custos foi uma estimativa, portanto o valor dos custos de operações e custos de materiais a que chegamos pode ter uma variação de mais ou menos 10%.

Chegamos então a um acréscimo de custo de cerca de 6% para o novo modelo, que não pode ser considerado como foi dito anteriormente um valor exacto, esta análise incide apenas em custos materiais e custos de operações não sendo contabilizados nela os eventuais ganhos que se teria numa standarização dos novos cilindros tais como: custo de optimização de stocks e custo de optimização de processos.

Esta nova estimativa mostra-nos que o novo corpo do cilindro fica em termos de custos materiais e custos de operações mais barato em relação ao actual, mas contudo os custos associados à nova tampa inferior e superior do conjunto tornam-no no seu custo geral mais caro.

5 Nova proposta de cilindros hidráulicos baseado no conceito actual

5.1 Nova geometria das hastes

Os resultados obtidos na iteração anterior não se revelaram concludentes, não nos dando certeza para avançar para a última etapa do desenvolvimento de produto a produção em série.

Esta incerteza levou a uma nova proposta de standardização, neste caso para um dos componentes dos cilindros hidráulicos, as hastes.

As QIHD-11030 e as QIHD-16030 representam uma grande percentagem das vendas anuais da ADIRA, sensibilizados para esta facto e das eventuais vantagens que traria para a empresa tentar tornar comuns às duas tonelagens o maior número de componentes possíveis.

Tentou-se então chegar a um compromisso de diâmetro de haste e êmbolo para as PM-QIHD-11030 e PM-QIHD-16030. As dimensões dos diâmetros e das espessuras das paredes para os cilindros hidráulicos são feitas como já foi dito anteriormente considerando uma pressão no seu interior de 300 bar.

O que esta nova iteração propõem é elevar no caso dos cilindros usados nas quinadoras de 160 toneladas a sua pressão interior de dimensionamento de 300 bar para 310 bar, chegando assim a um diâmetro intermédio de haste e êmbolo para as duas tonelagens.

Foi então calculado o diâmetro do êmbolo sendo dimensionado para que não ultrapasse a pressão de dimensionamento, enquanto o diâmetro das hastes foi dimensionado tendo em conta a força de recuo, isto é a área anelar deve ser a suficiente para elevar o peso do avental móvel. A tabela seguinte apresenta os valores de diâmetro de haste e êmbolo

Tabela 21- Características principais considerando um diâmetro de êmbolo e haste de 185 e 175 mm.

Gama QIHD	11030	16030
V recuo (mm/s)	110	65
Caudal (l/min)	24	24
Diâmetro do Êmbolo (mm)	185	185
Diâmetro da haste (mm)	175	175
π	3,14	3,14
Pressão de trabalho (bar)	204,6	297,6
Força do cilindro (N)	550000	800000
Área êmbolo (m ²)	0,026880	0,02688
Força de Recuo (N)	57852,45	84149,01
Área anelar	0,002827	0,002827
Caudal da bomba (m ³ /s)	0,0004	0,0004
Diâmetro mínimo do êmbolo (mm)	178,63	174,09
Força de Recuo (N)	57852,45	84149,01
Cilindrada da bomba (cm ³)	16	16
Rotação da bomba (n- rpm)	1500	1500

Tabela 22- Características principais considerando um diâmetro de êmbolo e haste com os valores usados actualmente nas QIHD-PM-11030 e QIHD-PM-16030

Gama QIHD	11030	16030
V recuo (mm/s)	110	65
Caudal (l/min)	24	24
Diâmetro do Êmbolo (mm)	160	190
Diâmetro da haste (mm)	153	180
π	3,14	3,14
Pressão de trabalho (bar)	273,5	282,2
Força do cilindro (N)	550000	800000
Área êmbolo (m ²)	0,02011	0,02835
Força de Recuo (N)	47072,27	81994,46
Área anelar	0,001721	0,002906
Caudal da bomba (m ³ /s)	0,0004	0,0004
Diâmetro mínimo do êmbolo (mm)	152,59	179,39
Força de Recuo (N)	47072,27	81994,46
Cilindrada da bomba (cm ³)	16	16
Rotação da bomba (n- rpm)	1500	1500

Analisando os resultados obtido verificamos que obtemos um diâmetro comum de 185 mm para o êmbolo e de 175 mm para a haste respectivamente.

Chegou a este valor restringindo uma pressão dimensionamento diferentes para as duas gamas, tendo em conta o tipo de bomba sendo comum às 110 toneladas e às 160 toneladas (uma bomba de engrenagens com 16 cm³ de cilindrada e uma pressão máxima de 315 bar) e garantir uma força de recuo com os valores aproximados actualmente usados. Um dos outros requisitos que o diâmetro da haste deve ter em consideração é a velocidade de recuo da máquina.

$$V_{recuo} = \frac{q * 10^6}{30\pi * (D^2 - d^2)}$$

V_{recuo} - velocidade de recuo (mm/s)

q - Caudal da bomba (l/min)

D – diâmetro do êmbolo (mm)

d – diâmetro da haste (mm)

As hastes usadas actualmente são uma peça só específicas tanto para as 110 toneladas como para as 160 toneladas. A nova proposta para standarizar as hastes desta duas gamas de quinadoras passaria por dois elementos um êmbolo e uma haste cujo seu comprimento pode variar consoante o curso pretendido.

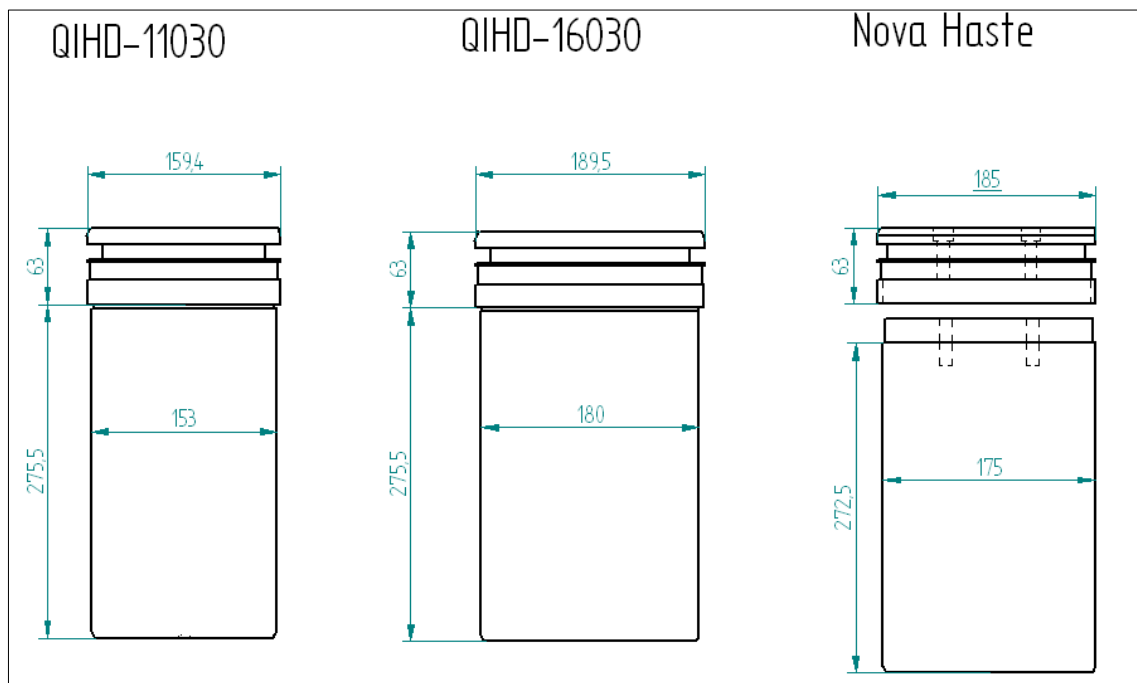


Figura 39-Standardização das hastes para as QIHD-PM-11030 e QIHD-PM-16030

Se considerarmos a haste como um conjunto, dentro deste conjunto tem-se três subconjuntos que são eles os elementos de vedação, o êmbolo e a haste.

A haste fixa-se ao êmbolo por intermédio de quatro parafusos, sendo estes dimensionados tendo em conta a força de recuo e a força de saque.

De uma maneira geral o dimensionamento dos parafusos é feito tendo em conta a força de recuo com um acréscimo de 40% desta.

Vejamos o exemplo descrito na tabela seguinte:

Características	QIHD-16030	QIHD-11030
Força de Recuo (N)	84149	57852
Diâmetro do êmbolo (mm)	185	185
Diâmetro da haste (mm)	175	175
Área anelar (mm²)	2827	2827
Força de Recuo + Força de Saque (N)	117809	80993
Força por parafuso (N)	29452	20248
Força parafuso (daN)	2945	2025
Parafuso Seleccionado	M16	M16

Para a selecção do diâmetro do parafuso a usar consultou-se uma tabela e pareceu mais coerente escolher os mesmos tipos de parafusos para as duas gamas, sendo assim mais um elemento a normalizar.

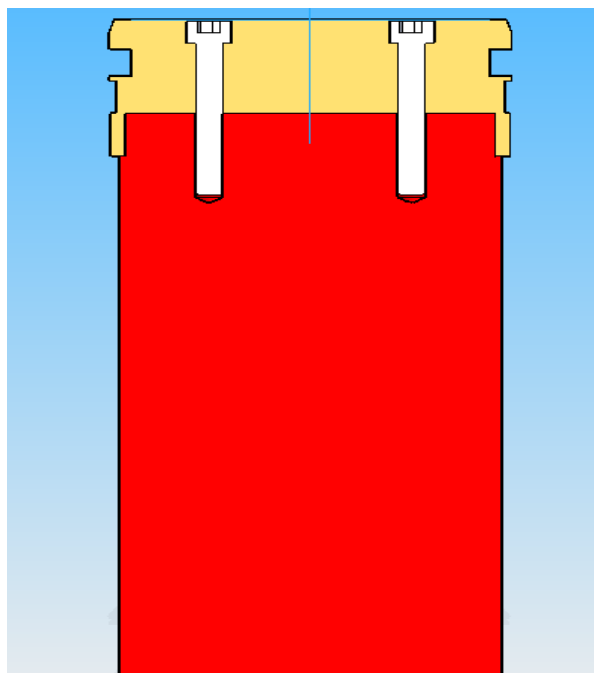


Figura 40-Nova proposta de haste fixa por intermédio de parafusos no Solid Edge

Actualmente as QIHD e as QIHF utilizam nas hastes para a mesma capacidade de quinagem elementos de vedação e de guiamentos de fabricantes diferentes, sendo para as QIHF usados vedantes mais rígidos e dois guiamentos na zona do êmbolo em virtude da sua velocidade de avanço e de trabalho ser superior.

Seria interessante do ponto de vista da standardização e normalização usar o mesmo tipo de vedação e guiamentos nas duas gamas apesar de não ter sido feito um estudo mais pormenorizado se tecnicamente seria possível implementar esta medida.

De uma forma esquemática esta 3ª iteração teve as seguintes etapas:

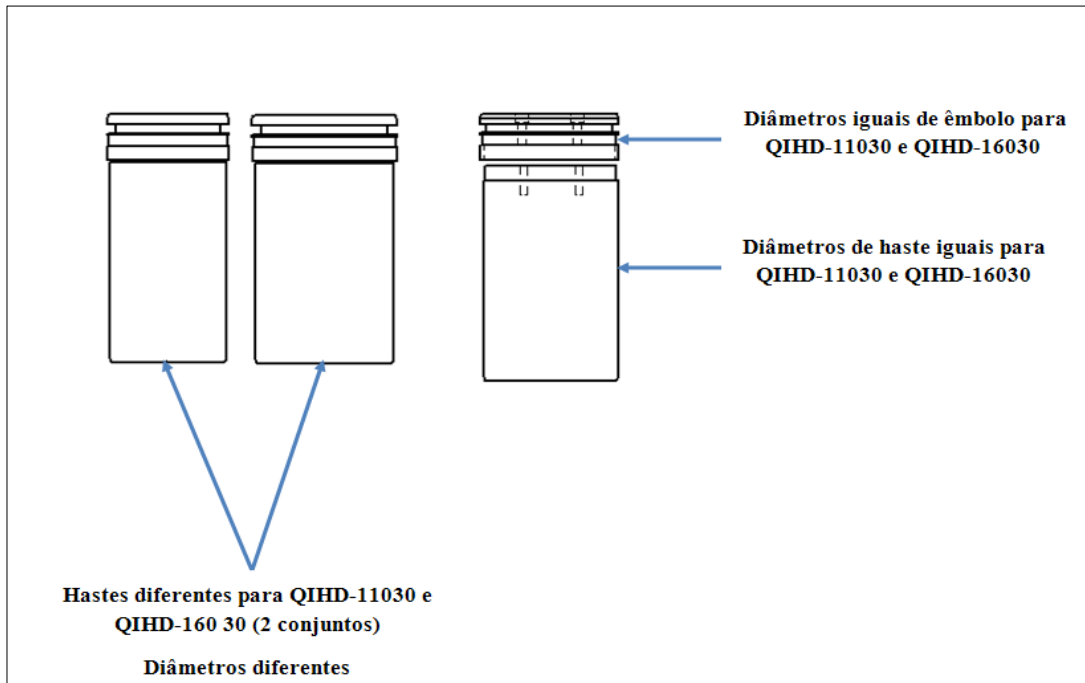


Figura 41-Esquema da 1ª etapa de standardização para as hastes dos cilindros

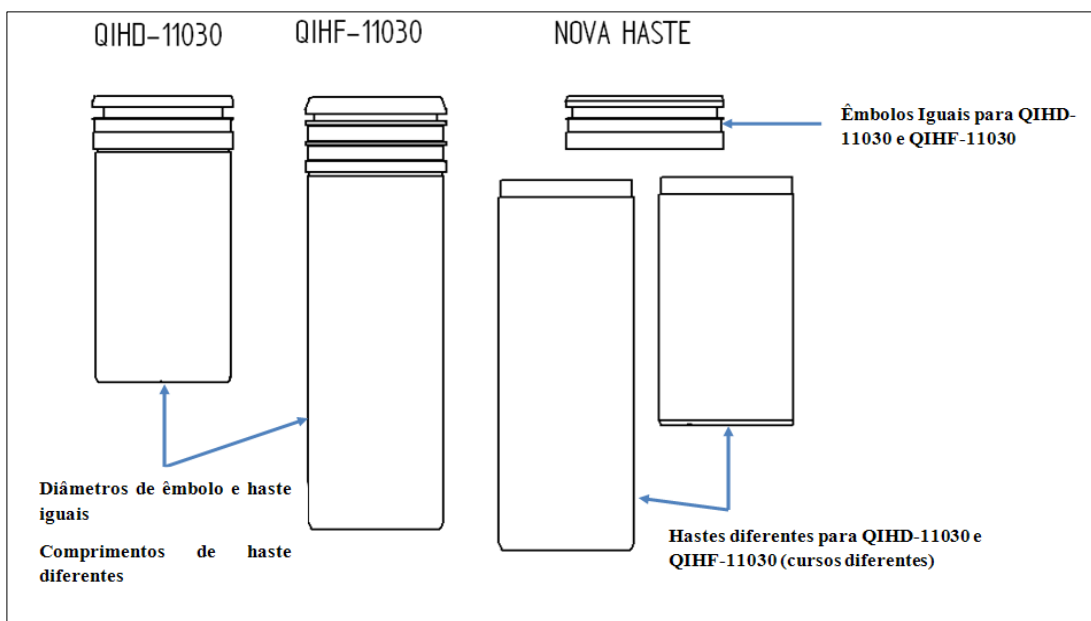


Figura 42- Esquema da 2ª etapa de modularização para as hastes dos cilindros

Estes dois esquemas demonstram os dois objectivos principais desta 3ª iteração de standardização sendo eles:

- **Standardizar** as hastes para as PM-QIHD-110 toneladas e PM-QIHD de 160 toneladas, tendo a mesma geometria e dimensões
- **Modularizar** os êmbolos para as máquinas do tipo QIHF-11030 e QIHD-11030 tendo depois as hastes um determinado comprimento que varia conforme o curso pretendido.

As hastes durante o seu processo de fabrico são sujeitas a um tratamento superficial de cromagem. A cromagem (Jorge Rodrigues, Paulo Martins, 2005, Tecnologia mecânica Volume 1) consiste num revestimento de cromo duro conferindo à sua superfície excelentes propriedades de resistência física e mecânica.

As razões pelas quais se usa a cromagem na superfície das hastes são:

- **Maior resistência ao desgaste** – aço revestido com cromo duro apresenta em média oito vezes mais resistência assim como uma diminuição da energia superficial
- **Resistência à corrosão** – a formação de uma fina película de óxido estável protege-a de uma oxidação posterior
- **Baixo coeficiente de atrito** – não gera a adesão de partículas permitindo a redução de lubrificantes devido às suas características de repelência

Uma das outras vantagens desta solução é que ao conseguirmos uma haste comum para os dois cilindros hidráulicos, também vamos conseguir tornar comum o corpo do cilindro e a tampa do cilindro.

A espessura do corpo do cilindro é calculado como já vimos no capítulo 3 em função do diâmetro de êmbolo pela fórmula de Bach, por sua vez a tampa do cilindro também se tornaria comum uma vez que diâmetros de haste e de êmbolo iguais determinaria o uso do mesmo tipo de elementos de vedação e de guiamento.

Para um diâmetro de êmbolo e haste de 185 e 175 mm respectivamente chegaríamos aos seguintes valores da tabela seguinte:

Tabela 23 – Espessura, tensão e deformação circunferencial para proposta de standardização da QIHD-11030 e QIHD-16030

QIHD-11030/QIHD-16030	
Pressão dimensionamento (bar)	310
Area êmbolo (m ²)	0,02688
Diâmetro haste (mm)	175
Diâmetro êmbolo (mm)	185
Curso máximo (mm)	160
Diâmetro corpo do cilindro (mm)	254
Espessura da parede do corpo do cilindro (mm)	35

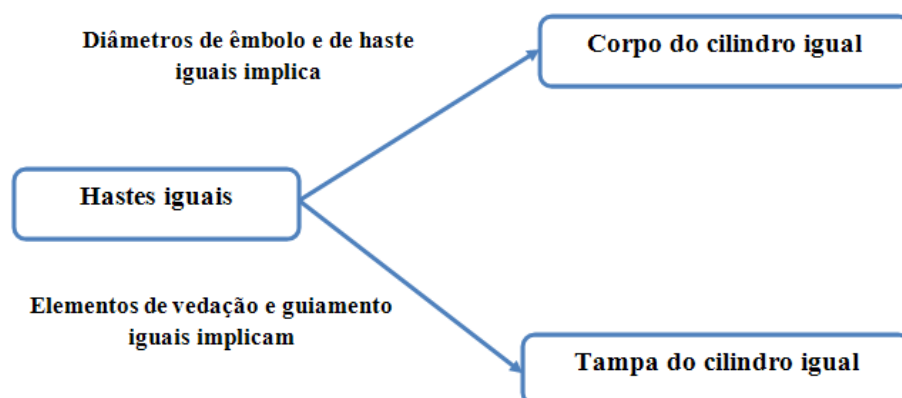


Figura 43-Esquema da implicação da standardização das hastes para quinadoras de 110 e 160 toneladas

Os diâmetros de haste e êmbolo são dimensionados tendo em conta a existência de diâmetros de vedantes dos fabricantes disponíveis no mercado.

Dum modo geral os valores normalizados para o êmbolo e haste tem um intervalo de 10 mm, isto é para os valores anteriormente calculados de 185 e 175 mm respectivamente verificou-se dificuldade em encontrar depois elementos de vedação compatíveis com este valor, optando-se então por manter os valores actuais usados nos cilindros das QIHD-16030 e PM-16030 para as QIHD-11030 e PM-11030

5.5.1 Análise de Custos

Mais uma vez para esta nova proposta de standardização das hastes das máquinas de 110 e 160 toneladas foi feita uma análise de custos usando os mesmos princípios da 2ª iteração, isto é fazer uma estimativa dos novos custos de materiais e de operações em comparação com o modelo actual de hastes e como isso se traduz no custo final geral do cilindro hidráulico.

Custos de operação o modelo de haste actual dum a QIHD-1600

Tabela 24-Valores de tempos e custos de operação para modelo de haste actual nas 160 toneladas

Operação	Descrição	Tempo Operação [min]	Valor líquido (€)
10	Serrar	1	0,303
20	Tornear	101	43,9182
30	Rectificação cilíndrica	43,75	18,1198
40	Inspecção e ensaios	1	0,303
50	Maquinação (Cromagem)	1	41,13
70	Rectificação cilíndrica	93,75	38,8282
80	Inspecção e ensaios	1	0,303
Total		242,5	142,91

Custos materiais para o modelo de haste actual dum a QIHD-16030

Tabela 25- Custos material para modelo actual de haste nas 160 toneladas

Descrição	Quantidade (kg)	Valor líquido (€)
Aço, redondo 200-Ck45 DIN17200	86	76,54

Actualmente o preço de custo geral dum a haste é de **219,45** euros sendo contabilizados neste preço o custo dos materiais e os custos das diferentes operações de fabrico.

Com base nestas etapas de operação para o fabrico actual da haste, fez-se uma estimativa dos novos processos industriais para o êmbolo e para a haste não esquecendo que este novo modelo requer uma série de tolerâncias mais apertadas sobretudo quanto à garantia de concentricidade entre os dois componentes assim garantir uma tolerância de perpendicularidade entre a face superior da haste e caixa interior do êmbolo. Estas tolerâncias vão tornar provavelmente este processo mais caro do que actualmente usado.

Custos operação do êmbolo

Tabela 26-Valores de tempos e custos de operação para novo modelo de êmbolo igual para 110 e 160 toneladas

Operação	Descrição	Tempo Operação min]	Valor líquido (€)
10	Serrar	1	0,3
20	Tornear	55	23,9
30	Rectificação cilíndrica	41,3	17,1
40	Fresagem	45	18
40	Serralharia (furar,roscar)	45	13,6
50	Inspeção e ensaios	1	0,3
Total		188,3	73,2

Custos materiais do êmbolo

Tabela 27- Custos materiais do novo êmbolo

Descrição	Quantidade (kg)	Valor líquido
Aço, redondo 170-Ck45 DIN17200	18	14,4

Custos operação da haste

Tabela 28- Valores de tempos e custos de operação para novo modelo de haste igual para 110 e 160 toneladas

Operação	Descrição	Tempo Operação [min]	Valor líquido (€)
10	Rectificação cilíndrica	55	22,8
20	Fresagem	45	18
30	Serralharia (furar, roscar)	45	13,6
40	Inspeção e ensaios	1	0,3
Total		146	54,7

Custos materiais da haste

Tabela 29- Custos materiais da nova haste

Descrição	Quantidade (kg)	Valor líquido
Aço, redondo 170-Ck45 DIN17200	58,5	46,8

Custo geral do novo modelo de hastes

Tabela 30-Custo geral do novo modelo de hastes e comparação com o modelo actual usados nas QIHD-PM-160

Custo geral (€) = Custo material + Custos de operações	
Êmbolo	87,6
Haste	101,5
Cromagem subcontratação (€)	41,8
Total (€)	231
Diferença para a modelo actual de haste (%)	+5,25

Chegamos então a uma estimativa para o custo geral da nova proposta de haste para os cilindros hidráulicos abrangendo este modelo as QIHD-11030, QIHD-16030, PM-11030, PM-16030 e QIHF-11030. A nova haste fica cerca de 5% mais caro em relação ao modelo actual contudo não foi contabilizado os tempos de setup que este nova proposta introduz, assim como o custo das apertadas tolerâncias que esta proposta teria de ter.

Lembrando que o grande objectivo deste modelo é standarizar as hastes para as QIHD-PM-11030 e QIHD-PM-16030 e modularizar as hastes conforme o curso pretendido para as gamas QIHF e QIHD-PM. Isto leva-nos a analisar a procura das diferentes gamas de quinadoras no mercado actual, tem sido para isso feito uma pesquisa das máquinas com mais procura no mercado no último ano de 2009.

Tabela 31-Número de máquinas vendidas em 2009 nas diferentes gamas

Modelo	Nº Máquinas Vendidas
QIHF-11030	6
PM-11030	16
PM-16040	4
QIHD-11030	7
QIHD-11030	9
QIHD-16030/16040	5
PM-20040	4
QIHD-20030/20040	6
QIHD-5020	6
QIHD-8025	3
Total PM	25
Total QIHD	29
Total QIHD+PM	54
% 160 e 110 toneladas	67%

Analisando as máquinas vendidas em 2009 (gráfico 14), constatamos que as QIHF-11030 representam apenas 10% do número de máquinas vendidas nas PM-QIHD e QIHF-11030, o que economicamente nos leva a pensar que a modularização proposta para as QIHD-PM-11030 e QIHF-11030 não será uma solução a ser implementada apesar de tecnicamente ser viável, contudo tendo em conta a procura e exigências do mercado não será uma necessidade imediata a sua implementação mas no futuro caso a procura das QIHF-11030 aumente poderá ser uma proposta interessante.

De realçar que a standardização das hastes para as QIHD-PM-11030 e QIHD-PM-16030 economicamente pode ser vantajosa uma vez que estas representam 67% do número de máquinas vendidas em 2009 na gama QIHD e PM (tabela 32).

5.2 Nova geometria do corpo dos cilindros hidráulicos

Paralelamente a este novo conceito de hastes dos cilindros foi desenvolvido na empresa um estudo para uma nova geometria para os cilindros hidráulicos com o mesmo princípio de funcionamento do modelo actual.

A nova geometria abrange cilindros com capacidades de 55 e 80 toneladas com aplicação nas QIHD-16030, PM-16030, QIHD-11030 e PM-11030. e um forte potencial para ser aplicado aos cilindros das 50 toneladas e 80 toneladas de capacidade, sendo abordado apenas o primeiro caso neste ponto.

Esta nova forma para os cilindros hidráulicos (figura 42) é constituído por um corpo com a mesma geometria usada actualmente (2), sendo a alimentação feita por uma mangueira colocada na parte superior do corpo (1). A grande diferença para os cilindros usados actualmente nesta gama de quinadoras está na tampa do cilindro (4) que anteriormente estava encastrada nos bordos do corpo e agora é uma tampa circular, que se fixa exteriormente ao corpo do cilindro por intermédio de parafusos.

Esta nova geometria para o corpo do cilindro e tampa do cilindro pode ser aplicável à proposta de considerar a haste como um conjunto constituído por dois componentes, comprimento de haste conforme o curso pretendido fixa a um êmbolo por parafusos.

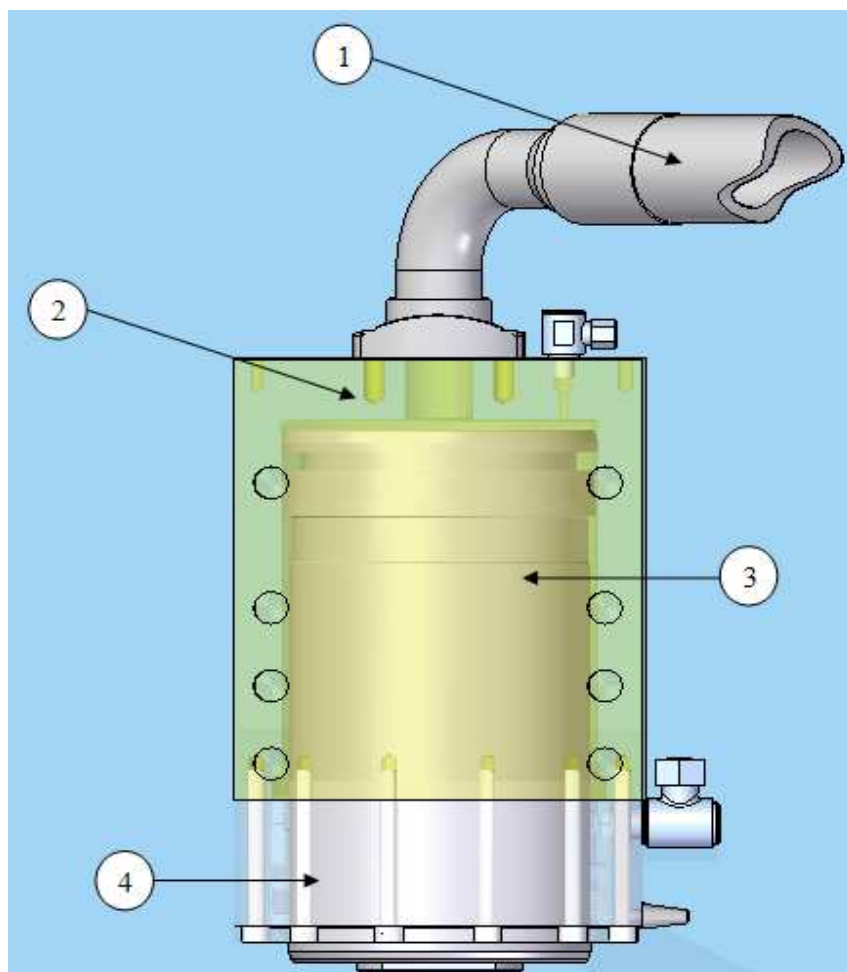


Figura 44-Nova geometria de cilindros para QIHD-16030, QIHD-11030, PM-16030 e PM-11030

1-Mangueira de óleo; 2-Corpo do Cilindro; 3-Haste do Cilindro; 4-Tampa do cilindro

Esta nova geometria permite standardizar os cilindros hidráulicos das PM-QIHD das 110 toneladas, PM- QIHD de toneladas e eventualmente modularizar as QIHF-11030 e QIHD-11030, isto é standardizando a tampa do cilindro sendo a sua altura variável conforme o curso pretendido.

Tabela 32- Características principais considerando êmbolo e haste de 190mm e 180 mm respectivamente para QIHD-PM-110 toneladas

Gama QIHD-PM	110 Toneladas	160 Toneladas
V recuo (mm/s)	110	65
Caudal (l/min)	24	24
Diâmetro do Êmbolo (mm)	190	190
Diâmetro da haste (mm)	180	180
π	3,14	3,14
Pressão de trabalho (Pa)	19398386	28215835
Força do cilindro (N)	550000	800000
Área êmbolo (m²)	0,028353	0,0283529
Força de Recuo (N)	56371,19	81994,46
Área anelar	0,002906	0,002906

Utilizando as dimensões actuais de haste e êmbolo das 160 toneladas nas máquinas com capacidade de 110 toneladas verificamos que a pressão de trabalho baixa consideravelmente passando de cerca de 273 bar (tabela) para 193,9 bar (tabela 33).

Uma vantagem é que o novo corpo seria produzido a partir dum bloco fundido, reduzindo assim o número de operações de maquinagem e consequentemente o custo de todo o processo industrial

Tabela 33-Estimativa de custo dos componentes do novo modelo

Novo modelo	Corpo do cilindro (€)	440,5
	Haste (€)	221,7
	Tampa do cilindro (€)	147,9
	Total (€)	810,1

Tabela 34- Custo Actual dos diversos componentes para as 110 toneladas e 160 toneladas e comparação com o novo modelo

110 Toneladas	Corpo do cilindro (€)	581,6	160 Toneladas	Corpo do cilindro (€)	628,5
	Haste (€)	173,6		Haste (€)	237
	Tampa do cilindro (€)	144,3		Tampa do cilindro (€)	160
	Total (€)	899,5		Total (€)	1026
	Diferença para novo modelo	11%		Diferença para novo modelo	26,6%

Seria possível com esta nova proposta diminuir o número de referências associadas aos diversos componentes actualmente para PM-QIHD 160 toneladas e PM-QIHD-110 toneladas, sendo actualmente o número de componentes comuns para estas duas capacidades de 18 e o número de componentes diferentes de 26, traduzindo assim num número de referências igual a 44. Ao tornar comum estas duas tonelagens passaríamos a ter apenas 20 referências.

Face a esta estimativa de custos, dá boas hipóteses de standardizar os cilindros para as forças de 50 e 80 toneladas, permitindo potencialmente usar mais tarde nas PM e QIHD de 200 toneladas 4 cilindros das 50 toneladas, sendo necessário um estudo mais pormenorizado e detalhado.

Esta nova geometria do corpo dos cilindros hidráulicos permite em jeito de conclusão reduzir o número de processos de maquinagem e como consequência o seu custo industrial e o número de referências será menor uma vez que tornamos comum maior número de componentes

6 Conclusão

Este estudo iniciou-se com o levantamento do número de gamas e componentes das quinadoras com especial atenção para os cilindros hidráulicos e todos os outros elementos que estão directamente relacionados com estes e levantamento do estado da arte das técnicas e métodos de standardização e modularização aplicadas sobretudo às máquinas ferramenta.

Depois de um levantamento do procedimento de cálculo e do princípio de funcionamento dos cilindros actualmente utilizados nas quinadoras foi feito o desenvolvimento de um novo modelo baseado nos cilindros hidráulicos convencionais usados nas diferentes aplicações industriais, tendo sempre a preocupação de aplicar as técnicas e ferramentas da standardização e modularização, para este modelo chegou-se a uma nova geometria em que seria possível standardizar dois componentes a tampa superior e inferior para diferentes gamas e modularizar o corpo cilíndrico com uma espessura de parede previamente calculada conforme o curso pretendido. Para verificar se esta solução era tecnicamente possível foi feita uma simulação por elementos finitos nos cosmos, tendo sido os resultados pouco esclarecedores quanto ao seu desempenho em relação ao modelo actual. Para este novo modelo foi feito igualmente uma estimativa do custo do processo industrial, concluindo-se que se aproximava muito do custo actual de fabrico dos cilindros.

Depois de verificadas algumas limitações técnicas deste modelo, foi feito um novo desenvolvimento neste caso para as hastes dos cilindros em que se tentava aproximar um diâmetro intermédio entre duas capacidades de quinagem permitindo standardizar as hastes para as quinadoras das gamas de 160 toneladas e 110 toneladas. Depois de encontrado um valor intermédio para o diâmetro da haste e êmbolo e tendo em conta a disponibilidade dos diâmetros de vedantes existentes no mercado nos diferentes fabricantes optou-se por adoptar as hastes com as dimensões actuais das 160 toneladas nas máquinas de 110 toneladas de capacidade. Nesta modelação de uma nova geometria de hastes foi proposta uma modularização das QIHF-11030 com as QIHD-11030, sendo as primeiras quinadoras que dispõem de um curso e velocidade de trabalho maior, foi proposto o uso dum êmbolo comum e que depois se fixaria a uma haste por intermédio de parafuso de teria um comprimento conforme o curso pretendido, para este estudo foi feito igualmente uma estimativa do custo processo industrial considerando todas as tolerâncias de concentricidade e perpendicularidade que estas novas hastes teriam encarecendo assim o processo.

Paralelamente a este estudo para tentar aproximar as hastes nestas duas capacidades foi desenvolvida uma nova geometria que standardizava os cilindros hidráulicos para as QIHD-PM de 110 toneladas e QIHD-PM de 160 toneladas. Esta nova geometria assemelha-se muito ao modelo actual com excepção da tampa do cilindro que neste novo modelo aparece colocada no exterior e fixa ao corpo do cilindro por parafusos.

As várias soluções propostas ao longo do tempo de estágio tiveram sempre uma linha de pensamento comum, tentar standardizar e modularizar o maior número de gamas e componentes possíveis mas nunca sem aumentar em demasia o custo industrial.

Eventualmente o modelo inicialmente proposto poderia ser aplicável e exequível se para isso se considerasse o uso nos diferentes componentes de um material com uma tensão de cedência e admissível muito maior que permitiria aguentar pressões interiores mais elevadas, mas tornaria o processo industrial e os custos materiais muito onerosos.

Em conclusão final de realçar que ao longo dos cinco meses de estágio e desenvolvimento deste projecto permitiu ter uma noção do ambiente fabril, e aprofundar os conhecimentos em projectos de máquinas e nas técnicas de standardização e modularização industrial cada vez mais importantes nos dias de hoje face às elevadas exigências do mercado competitivo em que vivemos.

7 Referências e Bibliografia

- Carliss Y. Baldwin and Kim B. Clark, 2001, *Design rules*
- António Ramos Pires, 1999, *Inovação e Desenvolvimento de novos Produtos*
- Karl T. Ulrich, 2004, *Product design and development*
- João Paulo Pinto, 2006, *Gestão de Operações na Indústria e Serviços*
- Jorge Rodrigues, Paulo Martins, 2005, *Tecnologia mecânica Volume 1*
- Jorge Rodrigues, Paulo Martins, 2005, *Tecnologia mecânica Volume 2*
- J.A. Bessa Pacheco, 1992, *Utilização de Quinadoras e Guilhotinas, APTCP, Porto*
- Carlos R. Gomes, 2005, *Mecânica das Estruturas, DEMEGI-FEUP*
- Joseph E. Shigley, 1986, *Standard Handbook of Machine Design*
- Timoshenko, S., 1967, *Resistencia de Materiales*
- Francisco Freitas, 1992, *Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos, DEMEGI-FEUP*
- Paulo Tavares Castro., 2006, *Apontamentos de órgãos de máquinas, DEMEGI FEUP*
- Marcos Carazatto Gimenez, 2008, *Proposta de reestruturação de uma família de chassis de ônibus através da análise modular, Unicamp*
- Roberto Pérez R., Joaquín Aca S, Andrés Valverde T., Horacio Ahuett G., Arturo Molina G, Carles Riba R. 2004, *A modularity Framework for Concurrent Design of Machine Tools, University of Holguin, México*
- Simone Poledrini, 2008, *From Modular Innovation to Systems Integration: the Main Experiences from Italian Machine Tool Builders, Faculty of Economics, University of Perugia, Italy*
- J.Padayachee, G Bright and I. Masekamela, 2009, *Modular Reconfigurable Machine Tools: Design, University of KwaZulu Natal, South Africa*
- ADIRA, 2009, *Máquinas Standard do Futuro*
- ADIRA, 2008, *Standarização [Normalização]*
- ADIRA, *Manual de Projecto Dimensionamento dos Cilindros Hidráulicos*

Sites de Internet Consultados

<http://intrabaan.adira.pt>

<http://www.amada.com>

www.thyssen.co.uk

www.ramada.pt

www.trumpf.com

www.matweb.com

www.vegacylinder.com

www.safan.nl

8 ANEXO A: Características técnicas das gamas de quinadoras e ficha técnica de Quinagem

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS											
QIH / QIH DNC		175.60	220.60	275.60	350.40	350.60	350.70	450.40	450.60	450.70	550.40
Força de Quinagem	kN	1800	2300	2800	4000	4000	4000	5000	5000	5000	6000
Comprimento de Quinagem	mm	6100	6100	6100	4100	6100	7100	4100	6100	7100	4100
Distância entre Montantes	mm	5100	5100	5100	3150	5100	6150	3150	5100	6150	3150
Curso Máximo	mm	250	200	200	250	250	250	250	250	250	300
Abert. Max. s/ Intermediários	mm	440	440	440	530	530	530	530	530	530	600
Cava	mm	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Potência	kW	15	15	15	30	30	30	30	30	30	30
Velocidade Aproximação	mm/s	100	100	80	100	100	100	100	100	100	100
Velocidade Trabalho	mm/s	9,5	8	8	10	10	10	8,5	8,5	8,5	7
Velocidade Retorno	mm/s	100	90	100	90	90	90	70	70	70	70
Comprimento	mm	6550	6550	6550	4400	6550	7650	4400	6550	7650	4400
Largura	mm	1850	2000	2000	2300	2300	2300	2350	2350	2350	2600
Altura	mm	3100	3490	3500	3450	3700	4050	4000	4280	4600	4200
Altura Posto Trabalho	mm	930	950	950	950	1050	1050	1050	860	860	950
Distância Abaixo do Solo	mm	1170 (*)	1295	1330	-	1250	1450	-	1500	1800	1050(*)
Massa Aprox.	Kg	21000 f*	26000	32000	22000	38000	44000	28000	45000	52500	34000

QIH / QIH DNC		550.60	550.70	700.60	700.70	1000.60	1000.70	1000.80	1250.60	1250.70	1250.90
Força de Quinagem	kN	6000	6000	7500	7500	11000	11000	11000	13500	13500	13500
Comprimento de Quinagem	mm	6100	7100	6100	7100	6100	7100	8100	6100	7100	9100
Distância entre Montantes	mm	5100	6150	5100	6150	5100	6150	6800	5100	6150	8100
Curso Máximo	mm	300	300	300	300	300	300	300	400	400	400
Abert. Max. s/ Intermediários	mm	600	600	600	600	700	700	700	800	800	800
Cava	mm	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Potência	kW	30	30	45	45	55	55	55	75	75	75
Velocidade Aproximação	mm/s	100	100	100	100	70	70	70	70	70	70
Velocidade Trabalho	mm/s	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6
Velocidade Retorno	mm/s	70	70	75	75	75	75	75	80	80	80
Comprimento	mm	6650	7650	6550	7650	6550	7650	8650	6550	7650	9650
Largura	mm	2600	2600	2700	2700	2900	2900	2900	3200	3200	3200
Altura	mm	4450	4700	4600	4900	4700	5050	5430	5300	5600	5900
Altura Posto Trabalho	mm	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860
Distância Abaixo do Solo	mm	1600	2000	1820	2200	1750	2250	2400	2600	2850	3025
Massa Aprox.	Kg	56000	64000	65000	75000	82000	88000	95000	90000	115000	130000

As máquinas assinadas com (*) podem ser fornecidas sem "Distância Abaixo do Solo" desde que fornecidas com Mesa Bombada

Tabela 35- Características Técnicas para Quinadoras da gama QIH

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS									
Modelo		5020	8025	11030	17530	17540	22530	22540	32040
Força de quinagem	kN	500	800	1100	1750	1750	2250	2250	3200
Comprimento de quinagem	mm	2050	2550	3050	3050	4000	3050	4000	4000
Distância entre montantes	mm	1600	2100	2600	2600	3150	2600	3150	3150
Curso máximo	mm	200	200	300	300	300	300	300	300
Cava	mm	350	350	500	500	500	500	500	500
Abertura máxima	mm	400	400	500	500	500	550	550	550
Comprimento *	mm	2950	3450	4000	4000	5000	4000	5000	5000
Largura *	mm	1850	1880	2000	2000	2000	2190	2190	2190
Altura *	mm	2520	2580	2810	2870	3070	3260	3460	3500
Altura de trabalho	mm	935	935	955	955	955	935	955	955
Peso aproximado	Kg	3500	6000	10500	12000	17000	15500	20500	28000
Potência	kW	5,5	7,5	11	15	15	22	22	22
Velocidade de aproximação	mm/s	200	200	200	200	200	200	200	160
Velocidade de trabalho	mm/s	10	10	9	9	9	10	10	8
Velocidade de retorno	mm/s	145	145	140	140	140	130	130	110

* Valores referentes às versões QIHF LS DNC

Tabela 36- Características Técnicas para Quinadoras da gama QIHF

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS										
Modelo QIHD		5020	8025	11030	16030	16040	20030	20040	20060	32040
Força de quinagem	kN	550	900	1100	1600	1600	2200	2200	2200	3200
Comprimento de quinagem	mm	2000	2500	3050	3050	4000	3050	4000	6100	4000
Distância entre montantes	mm	1550	2050	2550	2550	3150	2550	3150	5100	3150
Curso máximo	mm	160	160	160	160	160	200	200	250	200
Abertura máxima (s/ intermediário)	mm	400	400	400	400	400	440	440	440	440
Cava	mm	320	320	320	320	320	320	320	400	320
Potência	kW	3	5,5	7,5	7,5	7,5	11	11	15	18,5
Potência c/ Bend Boost	Kw	4	-	-	11	11	15	15	-	-
Velocidade aproximação	mm/s	120	120	120	120	120	110	110	110	70
Velocidade trabalho	mm/s	8	9,5	9,5	7	7	8	8	10	7,5
Veloc. trabalho c/ Bend Boost	mm/s	10	-	-	10	10	10	10	-	-
Velocidade retorno	mm/s	80	110	110	65	65	85	85	115	70
Veloc. retorno c/ Bend Boost	mm/s	113	-	-	105	105	115	115	-	-
Comprimento	mm	2890	3475	3975	3975	5170	3975	5170	7310	5190
Largura *	mm	1805	1815	1815	1815	1815	1950	1950	2200	2000
Altura total *	mm	2625	2625	2725	2950	2950	3250	3250	3745	3280
Peso aproximado *	Kg	3800	4600	6900	8600	10600	11000	15100	25000	19000

* Dimensões e massas das máquinas na versão PLS

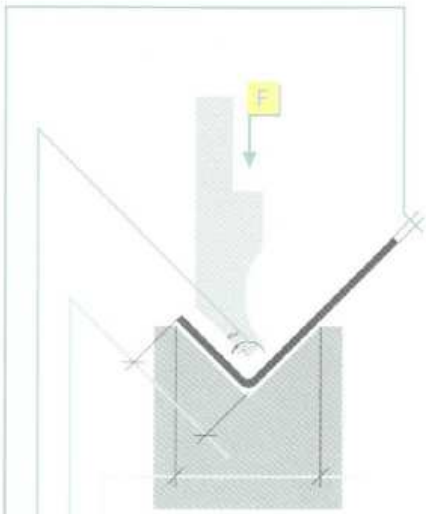
Tabela 37- Características Técnicas para Quinadoras da gama QIHD

Quinadoras – Modelo PM		PM 11030	PM 16030	PM 22040
Força de quinagem	kN	1100	1600	2200
Comprimento de quinagem	mm	3050	3050	4000
Distância entre montantes	mm	2550	2550	3150
Curso máximo	mm	160	160	200
Abertura máxima s/ intermediários	mm	400	400	440
Cava	mm	260	260	260
Potência	kW	5,5	7,5	11
Velocidade aproximação	mm/s	100	100	100
Velocidade trabalho (max.)	mm/s	7	7	8
Velocidade retorno	mm/s	80	65	85
Comprimento	mm	4200	4200	4900
Largura	mm	1615	1615	1720
Altura	mm	2725	2900	3030
Massa aproximada	Kg	6000	6900	11000

Dimensões e massas das máquinas na versão PLS

Tabela 38- Características Técnicas para Quinadoras da gama PM

Ficha técnica de quinagem



Como escolher uma quinadora

Os fatores mais importantes a considerar na escolha de uma quinadora são:

- Comprimento máximo da chapa a ser quinada;
- Dimensão máxima da aba a ser quinada, que deve ser retirada lateralmente pelos montantes da máquina;
- Curso da máquina;
- Força requerida.

Cálculo da força requerida

A quinagem no ar é o método normalmente utilizado por necessitar de menos força de quinagem e permitir a realização de diferentes ângulos com as mesmas ferramentas, mudando-se simplesmente a profundidade de quinagem. Para fazer arestos vincadas deve-se utilizar o método de quinagem a fundo. Este método requer uma força bastante maior que a requerida na quinagem no ar e ferramentas especiais para cada ângulo. Este processo é, de uma forma geral, apenas utilizado em chapas finas para ângulos de 90°.

A tabela seguinte ajuda a calcular a força necessária para quinagem no ar.

	6	8	10	12	16	20	22	25	32	40	50	63	80	90	100	110	125	140	160	200	250	320	400	500	
b	4	5,5	7	8,5	11	14	15,5	17,5	22	28	35	44	56	63	70	78	88	98	112	140	175	224	280	350	
ri	1	1,3	1,6	2	2,5	3	3,5	4	5	6,5	8	10	13	14	16	17	20	22	25	31	35	50	63	78	
e	0,8	8	6	4																					
	1,0	14	9	7	5																				
	1,25		19	12	9	6																			
	1,5			18	14	10	7																		
	2,0				28	19	14	12	11																
	2,5					32	23	21	18	13															
	3,0						36	32	27	19	15														
	4,0							52	38	28	21														
	5,0								63	47	35	26													
	6,0									72	53	39	29												
	6,5										84	62	46	34											
	7,0											104	75	56	41	36									
	8,0												105	77	56	48	42								
	10													130	94	80	70	62	53	46					
	12														123	107	94	80	69	59					
	14															134	114	98	83	63					
	16																155	133	112	84					
	18																	175	147	107	83				
	20																		188	140	105	78			
	25																			234	175	128	98		
	30																				265	193	146	112	



MÁQUINAS-FERRAMENTAS, LDA.
 Rua António Bessa Leite, 976/1106
 4150-072 Porto - Portugal
 Tel. 351 22 6192700
 Fax 351 22 6192701/2
 email: adira@adira.pt
 Internet: http://www.adira.pt



Força requerida por metro, em toneladas, para quinagem no ar de aço macio. Tensão de ruptura de 400 a 450 N/mm² (=45 Kgf/mm²). Os V aconselhados estão em fundo amarelo carregado e seguem a lei: V = 8 x e, para e ≤ 10 mm; V = 10 x e, para e ≥ 12 mm. Para outros materiais, corrija o valor proporcionalmente à nova resistência à ruptura.
 Ex: Para alumínio de 200 N/mm² (=20 Kgf/mm²) dividir o valor da tabela por 2.
 Para aço inox de 700 N/mm² (=70 Kgf/mm²) multiplicar o valor da tabela por 1,6.

Figura 45-Ficha Técnica de Quinagem ADIRA

9 Anexo B- Desenhos 2D dos Cilindros hidráulicos das Quinadoras

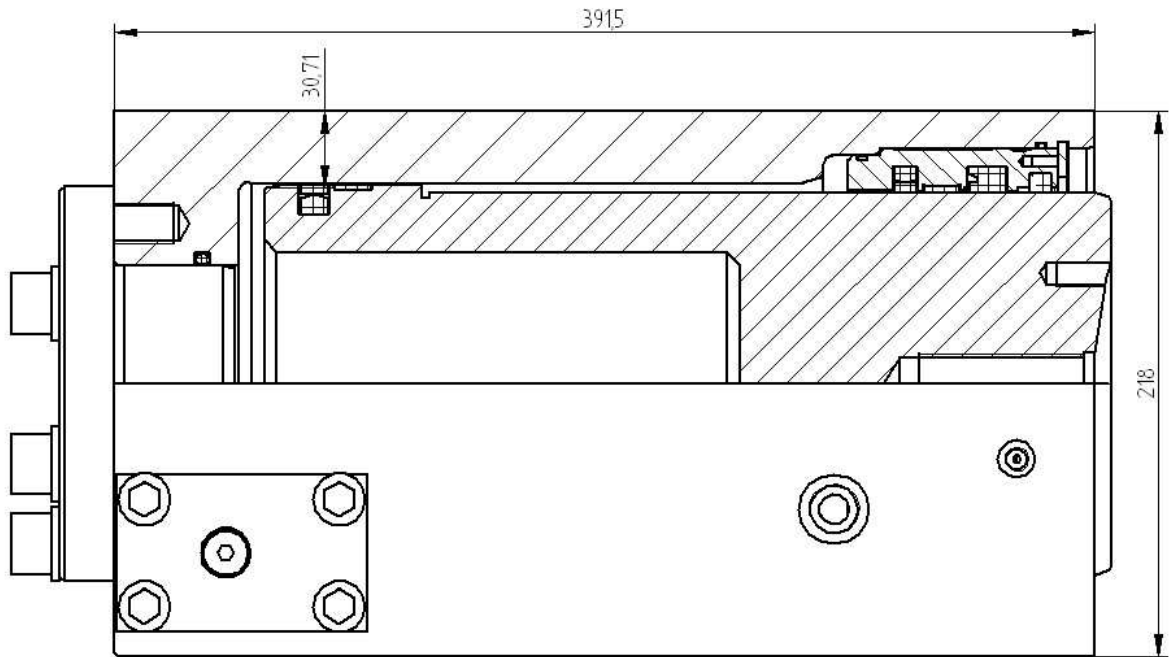


Figura 46- Desenho 2D do modelo actual dum cilindro hidráulico usado numa QIHD-11030

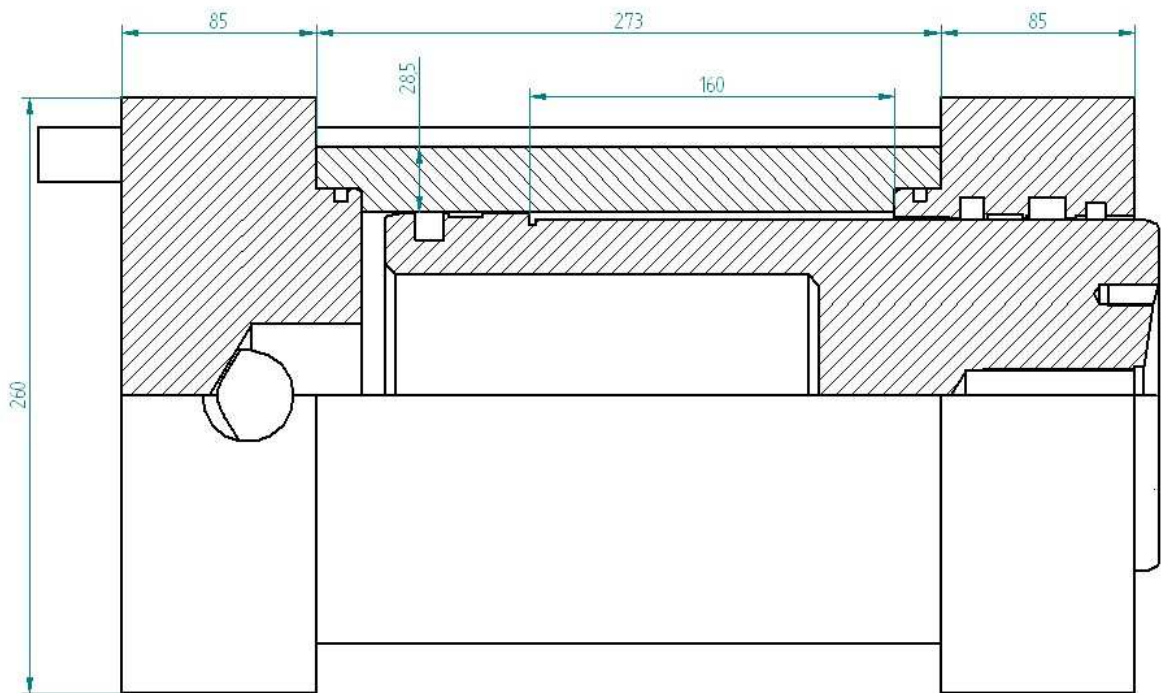


Figura 47- Desenho 2D do primeiro modelo desenvolvido dum cilindro hidráulico usado numa QIHD-11030

