



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - USP
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - EESC
Departamento de Engenharia Mecânica - SEM



RELATÓRIO DA DISCIPLINA SEM 0347 – PROJETO MECÂNICO
MEMORIAL DE PROJETO
MEMORIAL DESCRITIVO, MEMORIAL DE CÁLCULOS, DESENHOS, ANEXOS

MINI MÁQUINA DE ROTOMOLDAGEM EXPERIMENTAL

ALUNO: Heitor de Andrade Tiburcio

Orientação: Professor C. A. Fortulan

São Carlos, dezembro de 2020

Aluno: Heitor de Andrade Tiburcio

Professor: Carlos A. Fortulan

MINI MÁQUINA DE ROTOMOLDAGEM EXPERIMENTAL

Relatório da Disciplina SEM 0347 –
Projeto Mecânico (Memorial Descritivo e
Memorial de Cálculos), sob a orientação
do Professor C. A. Fortulan

São Carlos, dezembro de 2020.

RESUMO

TIBURCIO, H. Projeto de uma mini máquina de rotomoldagem para uso experimental em laboratório– Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.

O presente relatório trata do desenvolvimento do projeto de uma mini máquina de rotomoldagem para uso experimental em laboratório. A rotomoldagem é um processo industrial de fabricação de peças cujo material é termoplástico através de um molde que é aquecido enquanto é girado biaxialmente. Existem diversas configurações de máquinas que realizam esse tipo de processo. Descreve-se aqui o projeto de uma mini máquina de rotomoldagem para uso em laboratório de desenvolvimento de novas técnicas ou produtos. A máquina é do tipo *shuttle*, um único molde e braço com dois graus de liberdade. O forno é cilíndrico e possui aquecimento elétrico. A máquina possui dimensões reduzidas em relação às máquinas presentes na indústria em decorrência do seu propósito. O objetivo principal deste relatório é demonstrar conceitos de projeto mecânico sendo assim o foco maior foi na apresentação das etapas de projeto do conjunto e os dimensionamentos dos principais elementos mecânicos. Por fim, estão anexados os desenhos técnicos segundo normas brasileiras para o conjunto, subconjuntos e de elementos do subconjunto do Braço.

Palavras-chave: rotomoldagem, mini máquina, equipamentos laboratoriais.

ABSTRACT

TIBURCIO, H. Design of a mini rotational molding machine for experimental use in laboratory - São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2020.

This report deals with the development of the project for a mini rotational molding machine for experimental use in the laboratory. Remolding is an industrial process for manufacturing parts whose material is thermoplastic and is spined biaxially. There are several configurations of machines that perform this type of process. The design of a mini rotational molding machine for use in the laboratory for the development of new techniques or products is described here. The machine is a shuttle type, a single mold and arm with two degrees of freedom. The oven is cylindrical and has electric heating. The machine has reduced dimensions in relation to the machines present in the industry due to its purpose. The main objective of this report is to demonstrate concepts of mechanical design, so the main focus was on the presentation of the design stages of the assembly and the dimensioning of the main mechanical elements. Finally, the technical drawings are attached according to Brazilian standards for the set, subsets and elements of the subset of the Arm.

Keywords: rotomolding, mini machine, laboratory equipment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Máquina de rotomoldagem	12
Figura 2- Mecanismo de rotação biaxial.....	13
Figura 3-Imagem da máquina de rotomoldagem de uma patente	15
Figura 4-Exemplo de figura de patente	15
Figura 5-Exemplo de uma máquina de rotomoldagem para uso em laboratório.....	16
Figura 6-Total Design.....	17
Figura 7-Metodologia de projeto de uma mini máquina de rotomoldagem	18
Figura 8-Esboço do conjunto	19
Figura 9-Croqui do conjunto.....	20
Figura 10-Croqui do braço mecânico	21
Figura 11-Croqui da estrutura da base.....	21
Figura 12-Croqui do carrinho de movimentação.....	22
Figura 13-Croqui do mecanismo de portas do forno	22
Figura 14-Estrutura da base da máquina	23
Figura 15-Modelo CAD do carrinho de deslocamento do braço	24
Figura 16-Modelo CAD do braço principal.....	24
Figura 17-Sistema de controle da máquina feita por um computador dentro da carenagem	25
Figura 18-Sistema de portas do forno	25
Figura 19-Detalhe da fixação do mancal do braço principal	26
Figura 20-Detalhe do funcionamento do Fuso que move o carrinho	26
Figura 21-Renderização do modelo CAD mostrando conceito final.....	28
Figura 22-Renderização do modelo CAD mostrando conceito final sem a carenagem	29
Figura 23-Conceito final em outro ângulo com carenagem transparente.....	29
Figura 24-Ilustração do sistema de redução	31
Figura 25-Dados do motor selecionado	32
Figura 26-Curva de desempenho em carga para o motor selecionado	33
Figura 27-Curva de torque e corrente para o motor selcionado.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Lista de patentes sobre rotomoldagem	14
Tabela 2-Dimensões Principais.....	19
Tabela 3-Eficiências.....	31

LISTA DE SIGLAS

CAD	Computer-aided design
EF	Elementos Finitos
MEF	Método ds Elementos Finitos
RPM	Rotações por minuto
T	Torque
I	Momento De Inércia De Massa
t	Tempo
Pot	Potência

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Varição
α	Aceleração angular
ω	Velocidade angular
η	Eficiência

SUMÁRIO

1.	MEMORIAL DESCRITIVO	11
1.1.	Introdução.....	11
1.2.	Revisão Bibliográfica	12
2.	MEMORIAL DE CÁLCULO	30
2.1.	Condições de Operação.....	30
2.2.	Determinação da Potência Necessária para O Motor	31
3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
5.	APÊNDICES	43
5.1.	Apêndice A - Desenhos	43
5.2.	Apêndice C – Pedido e Patente	44
5.	ANEXOS	50

1. MEMORIAL DESCRITIVO

1.1. Introdução

Esse relatório faz parte da avaliação da disciplina SEM0347-Projeto Mecânico. Assim, seu principal objetivo é demonstrar os conceitos teóricos do desenvolvimento de um projeto de máquina por meio do desenvolvimento prático de um equipamento. Por essa razão, há um destaque especial para as etapas de projeto e para o dimensionamento dos elementos mecânicos da máquina escolhida.

A máquina escolhida para o projeto é uma máquina de rotomoldagem, que é um processo muito importante para a indústria de termoplásticos e com crescente importância. A dimensão inicial da máquina foi escolhida como uma máquina pequena para uso laboratorial para o uso em centros de pesquisa por conta das restrições do cronograma e complexidade do projeto, que deveria tratar-se de uma mini máquina. Além disso, como um trabalho acadêmico, o fato de que a máquina pode ser usada em laboratório possui um apelo especial.

1.1.1. Objetivos

O objetivo principal desse relatório é demonstrar os conceitos teóricos mais importantes para o projeto de máquinas. Principalmente, busca-se a construção do projeto dentro de uma metodologia de projeto, como as mais tradicionais, como as de Asimow (ASIMOW, 1968), ou mais modernas como as de Pugh (PUGH, 1990). Em qualquer que seja a metodologia escolhida, destacam-se as etapas de projeto conceitual, projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado e projeto de descontinuidade. Dentro dos objetivos principais ainda, pode-se incluir a busca pelo estado da técnica como ponto de partida, concordância com normas adequadas, e considerações de design relacionadas à segurança e ergonomia.

Já os objetivos mais específicos da parte de projeto mecânico estão relacionados à correta seleção de materiais, correto dimensionamento dos elementos mais importantes, além de observância de condições de manufatura, montagem e manutenção. Ou seja, as dimensões adequadas para o funcionamento, as tolerâncias adequadas são indicadas, juntamente com as considerações adequadas de fabricação onde necessário. Incluem-se ainda considerações de condição superficial das peças e sua correta lubrificação.

A forma como essas considerações aparecem no corpo do trabalho é por meio de textos descritivos do processo de projetar. Mas também estão presentes no memorial de cálculo e nos desenhos técnicos anexados ao final.

1.2. Revisão Bibliográfica

1.2.1. Rotomoldagem

A rotomoldagem é um processo industrial de fabricação de peças cujo material é termoplástico. Neste processo obtêm-se peças simples ou com alto nível de complexidade a baixo custo, se comparadas aos processos de injeção, sopro e vácuo na transformação industrial de material termoplástico. Obtêm-se também, peças de características próprias deste processo, como peças completamente herméticas e ocas, pequenas como uma moeda ou grandes como tanques ou silos de mais de 25 mil litros de capacidade. Neste processo pode-se usar polietileno, náilon, pvc, policarbonato ou qualquer outro tipo de termoplástico e alguns termofixos com limitações, além de parafina (velas decorativas), chocolate (ovos de páscoa), argila (barbotina) entre outros. As máquinas de rotomoldagem possuem, portanto, diversas escalas conforme o tamanho dos produtos a serem fabricados por elas. As abordagens comerciais mais comuns para o layout dessas máquinas são o carrossel, “shuttle”, “rock and roll” e “open flame” (ROTOLINE, 2020).



Figura 1-Máquina de rotomoldagem (ROTOLINE, 2020)

O processo de rotomoldagem pode ser basicamente dividido em 6 etapas. A primeira é a etapa de carregamento do material termoplástico no molde. A quantidade e qualidade do material colocado determinam a espessura do produto final. A segunda etapa é o aperto, onde os moldes são fechados e encaixados no braço de rotação (dependendo da configuração). A terceira etapa é o aquecimento. Nessa etapa, uma câmara ou os próprios moldes são aquecidos até uma temperatura controlada. Algumas vezes, são acrescentados gases inertes para evitar oxidação do material. A quarta etapa, que é a rotação, ocorre simultaneamente com a terceira e a quinta. Giram-se os moldes em dois eixos, para que o material derretido

possa se espalhar por todo o molde igualmente. A quinta etapa é o resfriamento. Ocorre normalmente por meio do ar ou jatos de água. Por fim, a última etapa é a retirada da peça pronta.

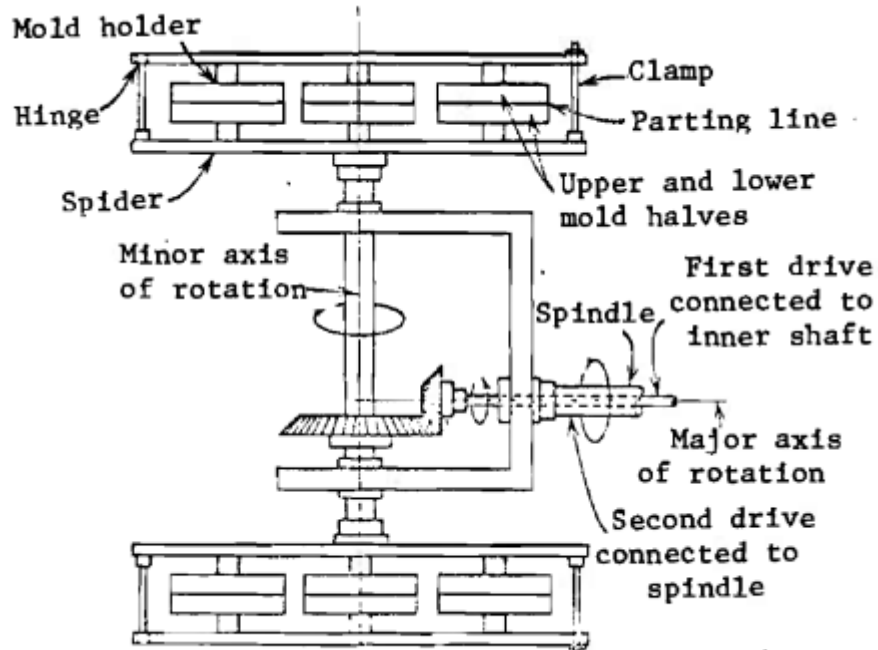


Figura 2- Mecanismo de rotação biaxial. O fuso é girado no eixo principal branco e os moldes são girados no eixo menor. A relação das duas rotações simultâneas é determinada pela engrenagem, que pode ser intercambiável, ou por dois motores.) (HEADQUARTERS UNITED STATES ARMY MATERIEL COMMAND, 1975)

Dentro dos processos de fabricação de peças plásticas, o processo de rotomoldagem possui algumas vantagens em relação aos processos de injeção e impressão de plásticos. Algumas delas são: A possibilidade fazer peças sem juntas ou partes destacáveis, sem nenhum desperdício. A fabricação de moldes é simples e barata, com curto tempo de fabricação. É possível fabricar peças com parede dupla. E principalmente, é um processo que pode ser feito em grande escala ou em peças completamente únicas. Algumas das desvantagens são a limitação de materiais, o longo tempo necessário para se fabricar uma peça e a necessidade de mão de obra especializada regularmente.

*Informações adaptadas do *Handbook* de engenharia (HEADQUARTERS UNITED STATES ARMY MATERIEL COMMAND, 1975)

1.2.2. Estado da técnica

A utilização das técnicas de rotomoldagem vem sendo aprimoradas desde os anos 1940 como método de fabricação de peças em plástico. (HEADQUARTERS UNITED STATES ARMY MATERIEL COMMAND, 1975). Desde então, muitas novas técnicas foram

desenvolvidas. Dada a enorme diversidade de aplicações que essa técnica pode ter e as diferentes escalas em que essas técnicas podem ser aplicadas, é difícil definir exatamente quais são as atuais limitações que essa técnica apresenta de maneira geral.

As três principais frentes de avanço no estado da técnica de rotomoldagem são em materiais, geometrias de peças e maquinário. Essas frentes são identificadas em uma busca simples em banco de patentes sobre o assunto. Pode-se reparar na Tabela 1 que as patentes encontradas são representantes de avanços em cada uma dessas frentes.

Tabela 1-Lista de patentes sobre rotomoldagem

Nome	Código
Processo de rotomoldagem para produção de bóia sinalizadora com furo passante	BR n. PI0700818-0 A
Processo para obtenção de reservatório de água com tampa soldável	BR n. PI0704326-0 A2
Piscina e/ou tampa obtida por meio de rotomoldagem	BR n. PI1000661-3 A2
Polyolefin-based composition for rotational molding	CA2143240A1
Nucleated Polyolefin-based composition for rotational molding	CA2163138A1
Seamless punching balloon and process of manufacture thereof	CA 2 292 196 A1
Útil normalizado para el rotomoldeo de piezas de plástico que permite referenciar la cáscara electroformada com respecto a la máquina de rotomoldeo	ES 2 304 839
Electromagnetic heating oven.	CN207783188U
Sistema de posicionamento de moldes para rotomoldagem	WO2015/036877
Máquina de Rotomoldagem tipo forno	CN 104690867 A

Algumas dessas patentes tratam de novos materiais para a manufatura de peças rotomoldadas, como por exemplo as patentes “Polyolefin-based composition for rotational molding” (CA2143240A1). Essas têm um viés fortemente químico. Outras, possuem o foco nas geometrias possíveis utilizando essa técnica, como é o caso das patentes “Piscina e/ou tampa obtida por meio de rotomoldagem” (BR n. PI1000661-3 A2) e “Seamless punching balloon and process of manufacture thereof” (CA 2 292 196 A1). E há ainda algumas focadas nas máquinas e processos, como “Processo de rotomoldagem para produção de bóia sinalizadora com furo passante” (BR n. PI0700818-0 A) e “Rotational moulding house” (CN107558611A).

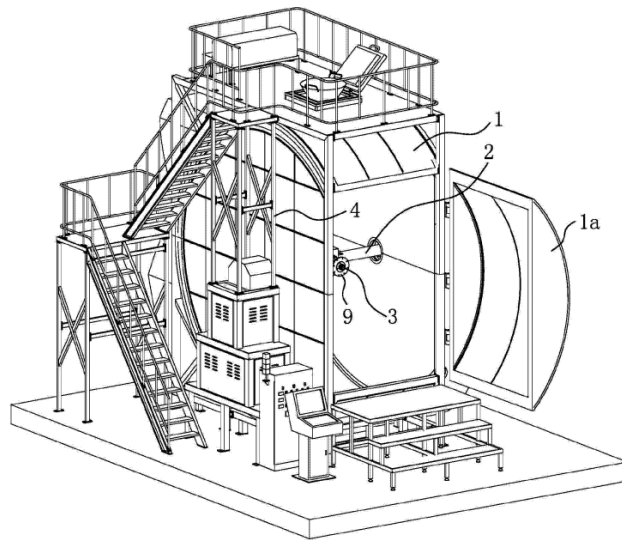


Figura 3-Imagem da máquina de rotomoldagem de uma patente (CN107558611A)

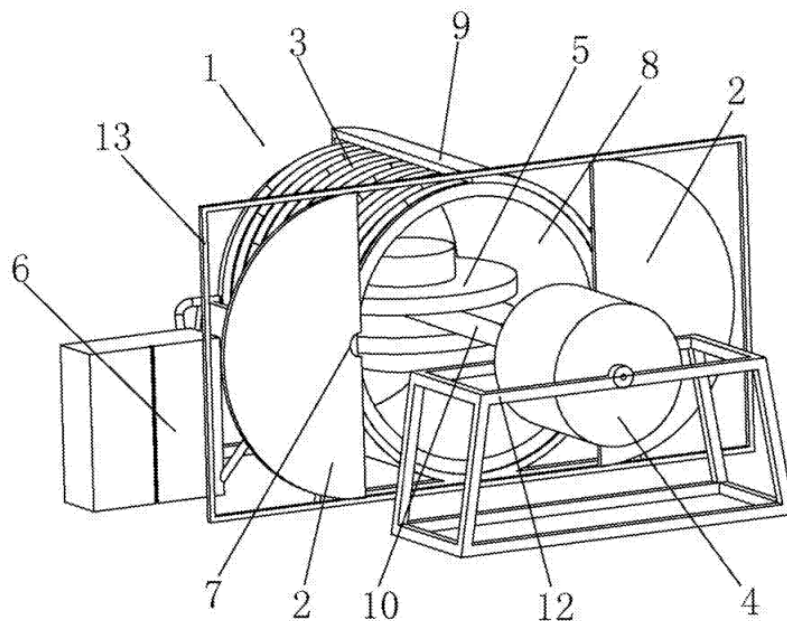


Figura 4-Exemplo de figura de patente (CN207783188U)

Esses exemplos mostram como é diverso o campo das técnicas de rotomoldagem e amplo o seu campo de atuação. Ao observar as datas de depósito das patentes, é possível ainda concluir que são técnicas relativamente recente (a maioria foi depositada na década de 2010). Fica evidente a importância e relevância desse processo na indústria hoje.

Apesar de diversas, essas patentes juntas mostram que o caminho pelo qual o avanço da técnica de rotomoldagem é bastante dependente de pesquisa no comportamento dos materiais. Somente com dados confiáveis do comportamento térmico dos termoplásticos, com resultados de testes de fadiga e de fabricação sob controle de vários parâmetros, pode-se fazer projeto de novas máquinas e/ou novas geometrias, etc. Por essa razão, deu-se preferência na escolha da máquina a ser projetada nesse trabalho como uma máquina de rotomoldagem para laboratório, que pode ser usada no desenvolvimento de novos materiais e processos.



Figura 5-Exemplo de uma máquina de rotomoldagem para uso em laboratório (ROTOLINE)

Em suma, a revisão bibliográfica demonstrou que não existe o registro de uma máquina de rotomoldagem pequena para uso em laboratório com acionamento por um único motor, sendo esse portanto o intuito principal da máquina a ser projetada. Apesar disso, existem modelos comerciais desse porte com atuação diferente, que podem ser usadas como parâmetro. A máquina da figura 4 é um exemplo disso.

1.2.3. Metodologia de projeto

Conforme o exposto na introdução, onde discutiu-se brevemente as metodologias de projeto, é necessário estabelecer uma ordem hierárquica das fases de projeto, e para cada

uma delas determinar alguns objetivos específicos. Uma dessas estruturas é a proposta por Pugh em seu livro Total Design, ilustrado na figura 5.

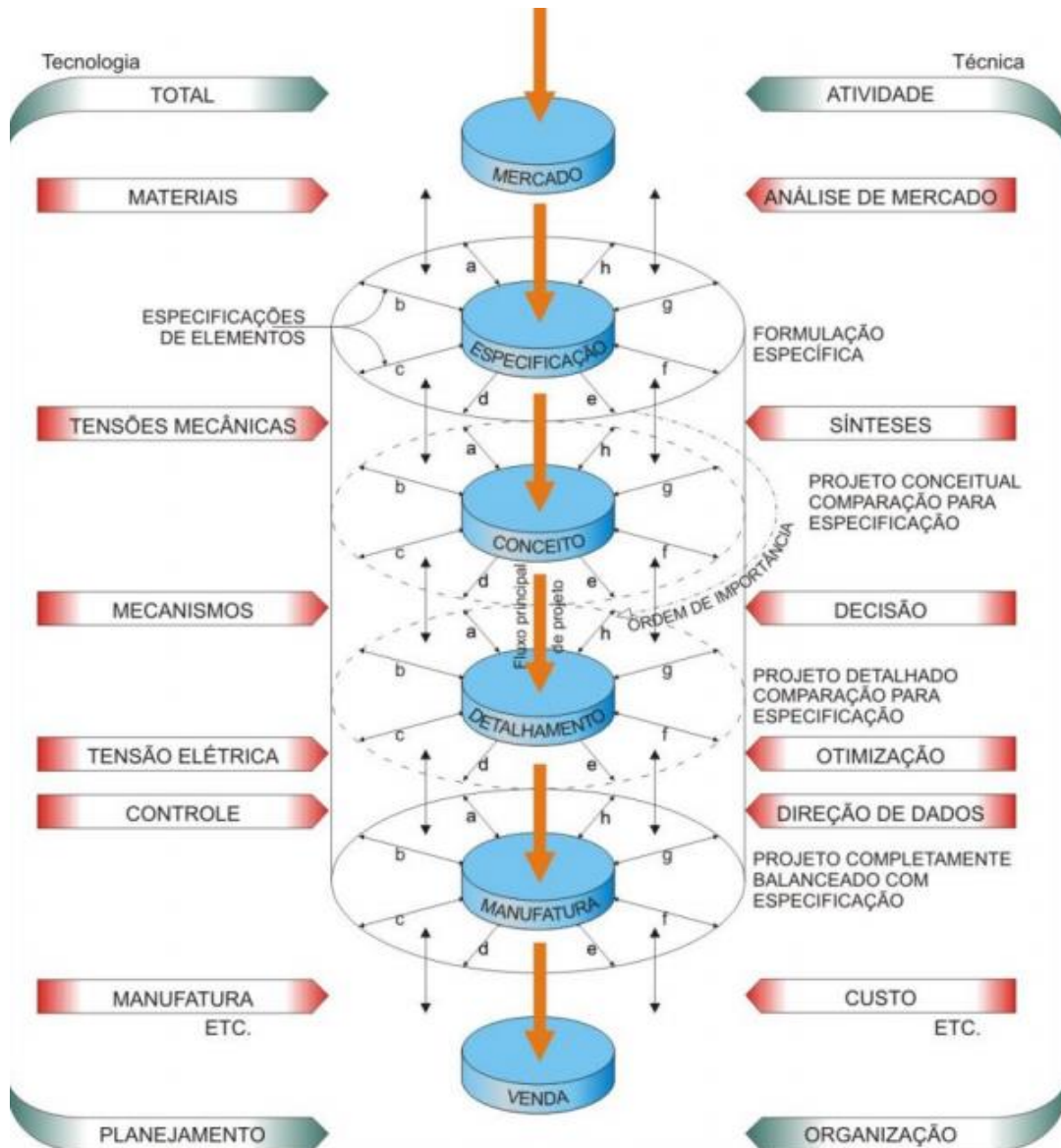


Figura 6-Total Design (PUGH, 1990)

As metodologias de projeto são várias essas fases podem ser classificadas de diversas maneiras, sendo que a metodologia proposta por Pugh é somente uma maneira de enxergar o processo. De qualquer forma, uma linha central que guia este projeto pode ser ilustrada na figura 6.

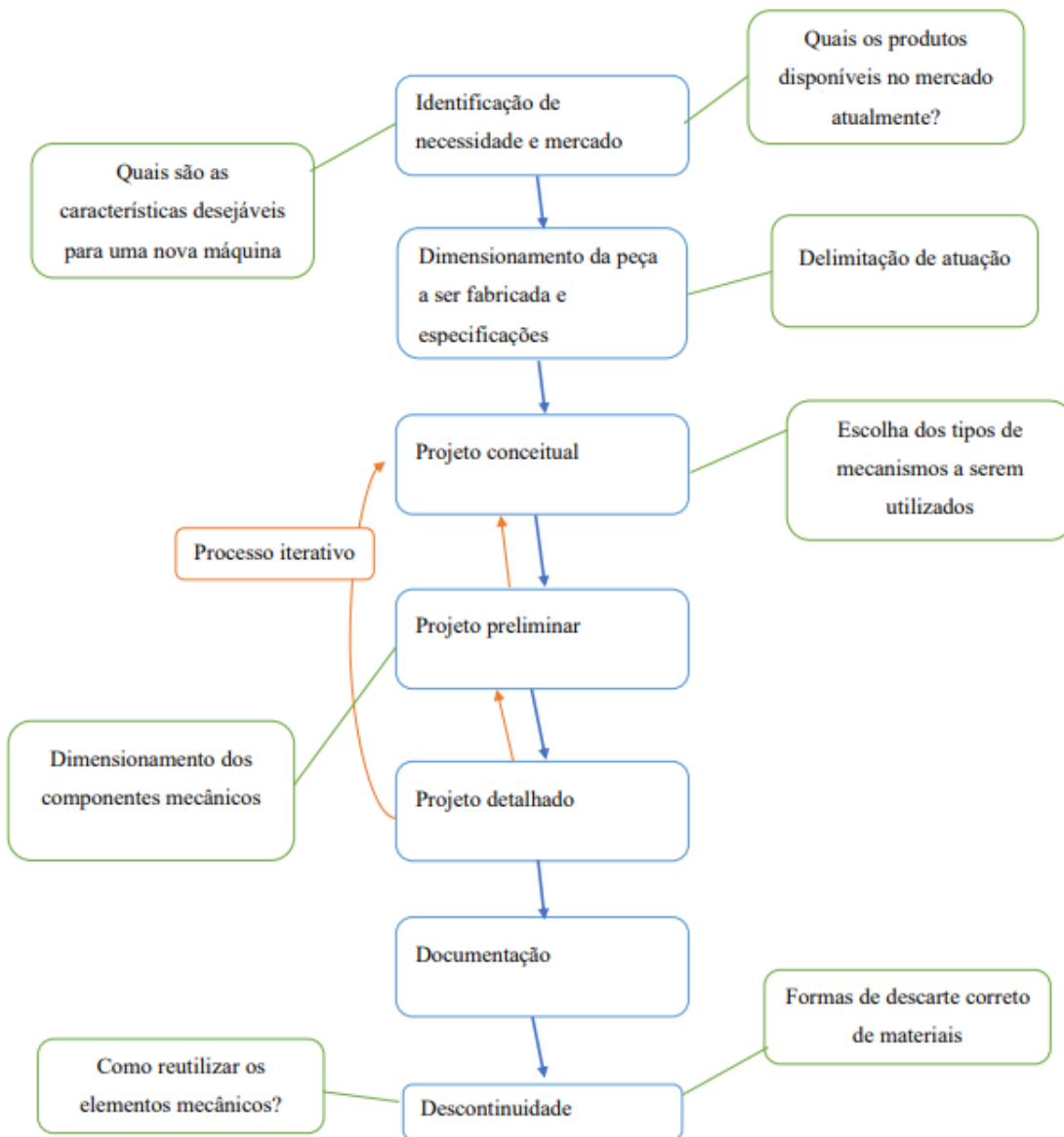


Figura 7-Metodologia de projeto de uma mini máquina de rotomoldagem

1.2.4. Dados do Projeto

Para que se possa dar início ao projeto, é importante desenhar uma série de parâmetros guias que são usados ao longo do desenvolvimento do projeto. Alguns desses dados são as dimensões máximas, tensão de alimentação, etc. Com base desses dados, as dimensões iniciais dos componentes podem ser estimadas e com isso é possível verificar a resistência mecânica dos componentes. Essa etapa marca a passagem de um projeto informacional para um projeto conceitual.

Como já colocado brevemente na etapa de revisão bibliográfica, a máquina a ser projetada neste trabalho deve ser pequena o suficiente para caber em um laboratório de pesquisa. Ao observar as máquinas no mercado feita para esse propósito, percebe-se que

elas estão dentro de dimensões máximas de 4x2x2 metros. Como parâmetro de projeto, então, as dimensões máximas da máquina estão dispostas na tabela 2. Além das dimensões máximas, pode-se incluir como parâmetro o fato de querer utilizar um único motor elétrico, que possa ser ligado a uma rede de 220V.

As dimensões do forno também são especificadas nesta etapa, porém o dimensionamento térmico da máquina, junto com o sistema de controle necessário para o correto funcionamento dela, não faz parte do escopo. Esse trabalho foca no dimensionamento mecânico dos componentes do conjunto mecânico principal.

Tabela 2-Dimensões Principais

Dimensão principal	Unidades e mm
Largura total	2400
Altura total	1500
Comprimento total	3000
Diâmetro interno do forno	660
Comprimento do forno	600

1.2.5. Esboço do Conjunto

Para guiar as próximas etapas do projeto, faz-se um esboço da máquina. Esse esboço faz parte do projeto conceitual da máquina, como guia dos croquis feitos nas etapas seguintes. Ele não possui dimensões e sua visualização é vista em perspectiva, como indicativo de como deve se parecer o projeto no final.

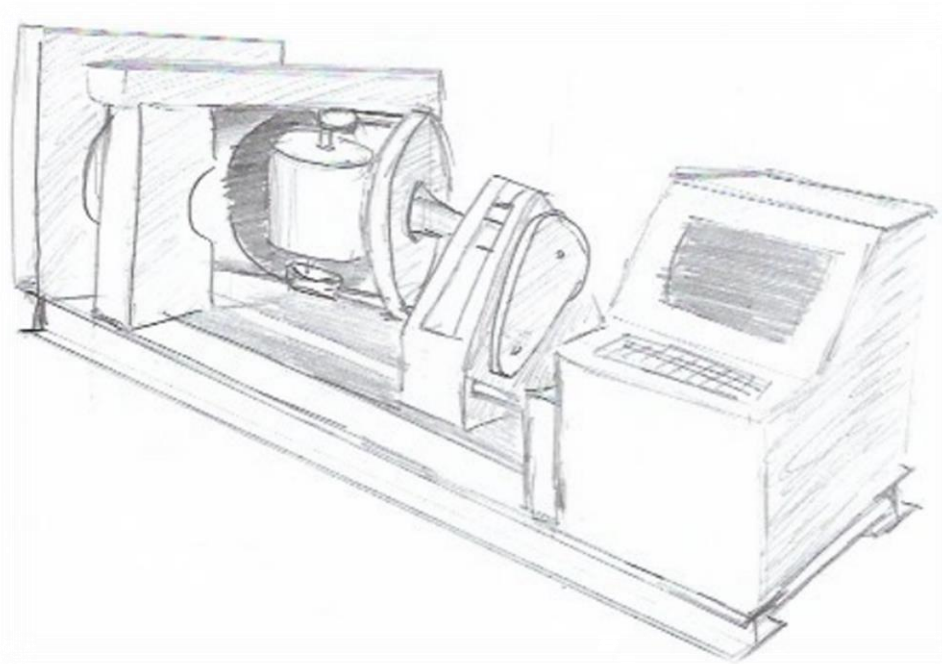


Figura 8-Esboço do conjunto

1.2.6. Croqui do Conjunto

O croqui representa a ideia do Projeto para discussões preliminares. Alguns croquis de subsistemas também são apresentados. Esses croquis fazem alusão às ideias da fase de projeto conceitual da máquina, que guiam a descrição geral do projeto, produto da fase de projeto preliminar.

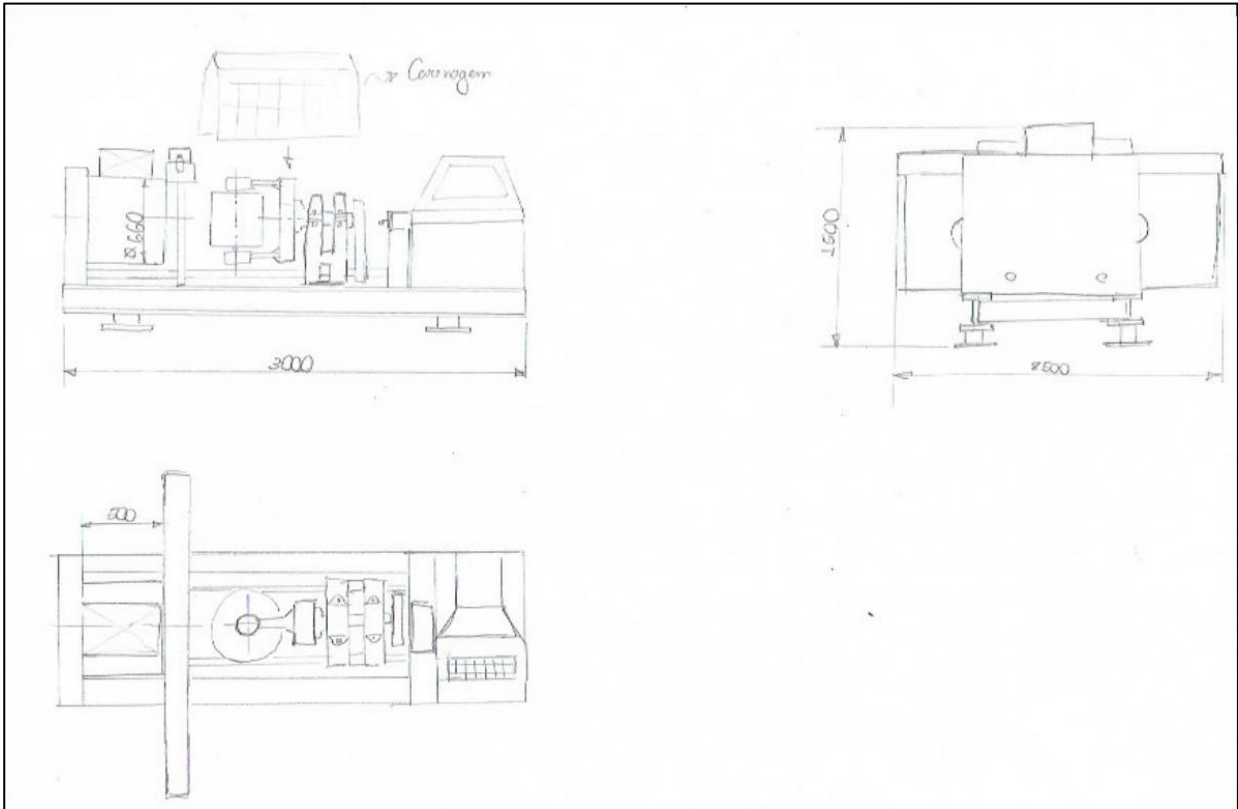


Figura 9-Croqui do conjunto

O croqui mostra a estrutura da máquina e algumas informações adicionais sobre a sua forma de montagem. O croqui seguinte mostra o principal componente mecânico da máquina, o braço mecânico que vai apoiar o molde. Esse braço é composto por um conjunto complexo de engrenagens e eixos que permite que o molde seja girado em dois eixos usando somente um conjunto motor.

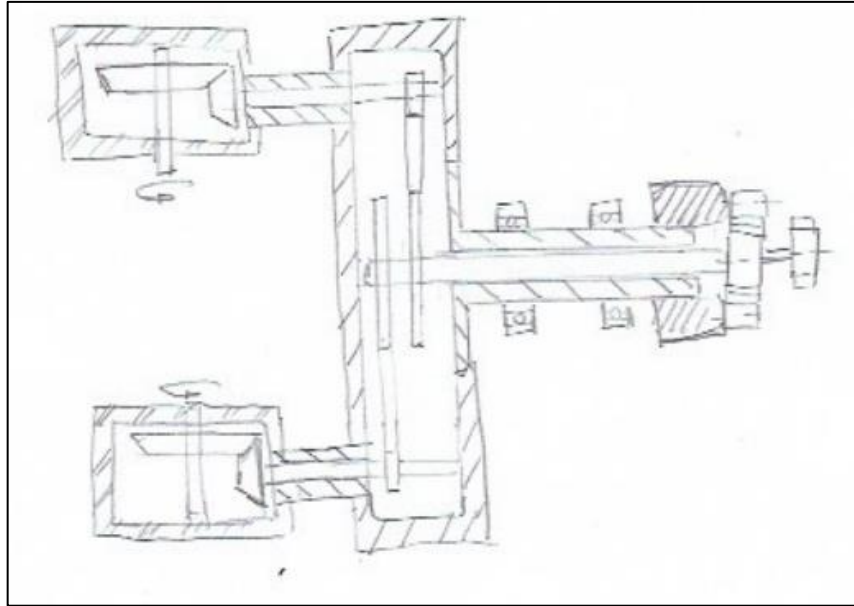


Figura 10-Croqui do braço mecânico

Os próximos croquis mostram outros subsistemas da máquina de grande importância e cuja visualização na forma de croqui ajuda o leitor a entender qual o mecanismo proposto para o seu funcionamento ou cuja ilustração dá ideia de dimensão – mesmo sem indicações de dimensão no croqui.

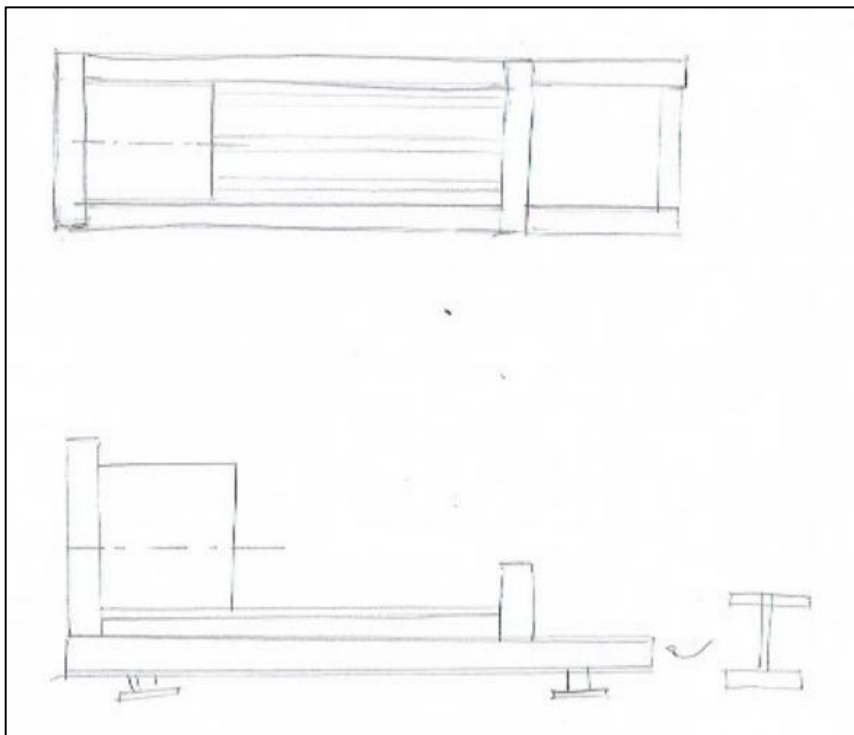


Figura 11-Croqui da estrutura da base

Nos desenhos das estruturas da base e do carrinho, é possível notar que há alguns detalhes que tentam mostrar características importantes para o correto funcionamento desses

subsistemas, como por exemplo o corte mostrando os rolamentos de cones e a seção em I na estrutura da base.

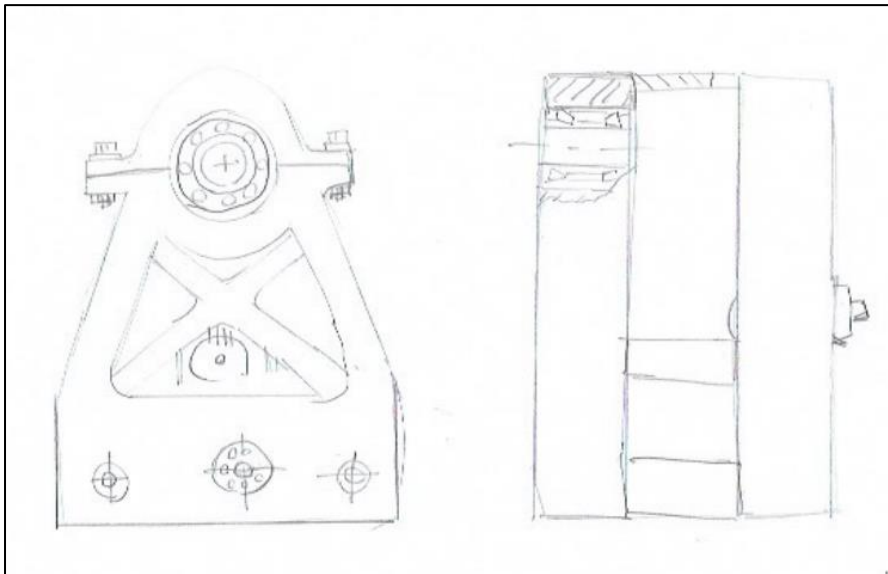


Figura 12-Croqui do carrinho de movimentação

O pequeno bloco acima da estrutura de portas do forno representa o pequeno motor de passo utilizado para abrir e fechar as portas.

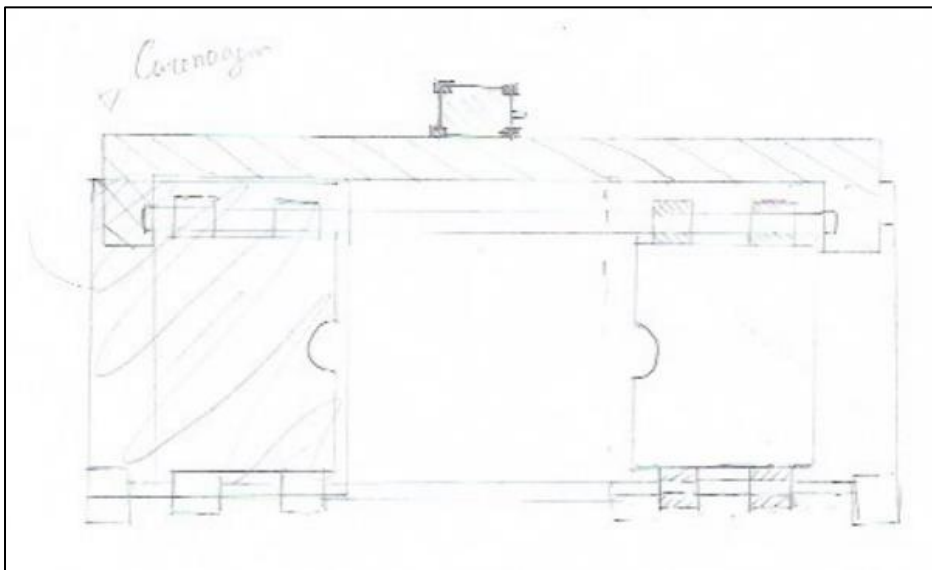


Figura 13-Croqui do mecanismo de portas do forno

Existem ainda alguns subsistemas importantes, como a torre de controle, formada pelo computador, tela, e carenagem e também o sistema de aquecimento do forno. Eles não estão representados na forma de croqui pois seriam desenhos muito simples que não trariam informações relevantes ao leitor nesse momento. Suas representações gráficas são incluídas em fases mais avançadas do projeto.

1.2.7. Descrição Geral do Projeto

Realizados os croquis dispondo as dimensões principais dos principais subsistemas e geral da máquina, esta seção descreve uma nova etapa, já dentro da fase preliminar do projeto. Preocupa-se agora em descrever o funcionamento de cada subsistema. Subsistemas esses que já tem algumas dimensões definidas e viabilidade de montagem, fabricação e manutenção pensadas. Essa etapa foi feita principalmente usando o software de CAD mecânico Inventor, da Autodesk. Com suas ferramentas nativas de design rápido e cálculo de esforços, os componentes foram sendo testados na medida em que foram criados, gerando assim as geometrias mostradas nas imagens que acompanham cada descrição.

O primeiro subsistema do projeto é a estrutura metálica da máquina. Ela é composta de duas vigas de perfil ISO SC 180 de 3 m de comprimento, cruzadas por dois tubos de perfil ISO 100x40x2,5. São adicionados pés feitos em chapa de aço perto das extremidades, com furos para fixação no chão, se for o caso. As estruturas em cima da base são “caixas” feitas com chapas de aço de espessura de 3 mm, responsáveis por suportar os trilhos da parte móvel do forno, feito em chapa de aço de ½ polegada. Os trilhos são de aço e têm diâmetro de 1½ polegadas.

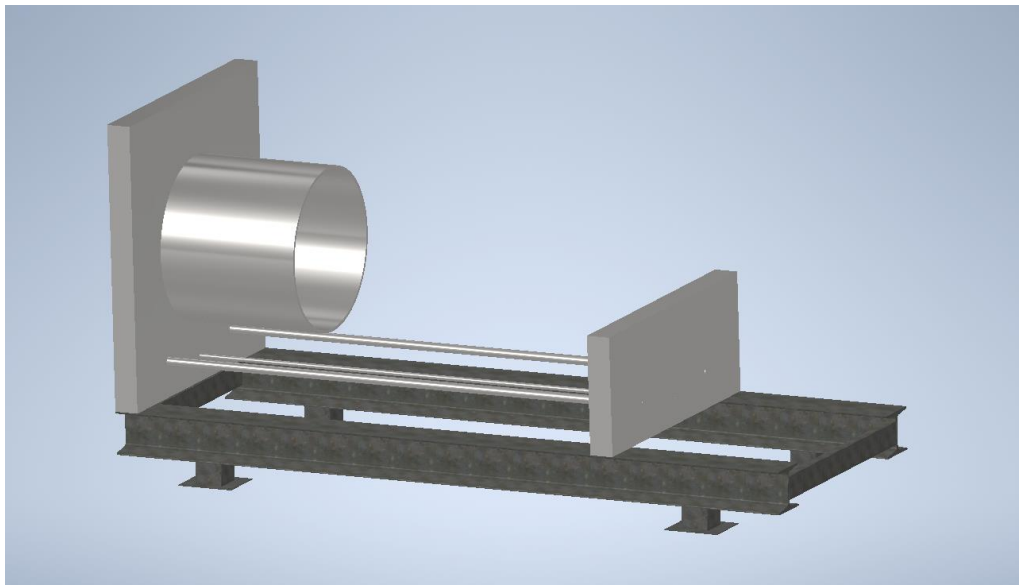


Figura 14-Estrutura da base da máquina

O outro subsistema é o aquecimento do forno, feito por meio de uma caixa com resistência, controlado eletronicamente.

Outro subsistema importante é o carrinho que corre sobre os trilhos, contendo o suporte do motor elétrico, o conjunto de correntes que vira o braço principal e os mancais do braço principal. Esse carrinho se move por meio de um fuso que é acionado por um motor de passo fixado na estrutura da máquina.

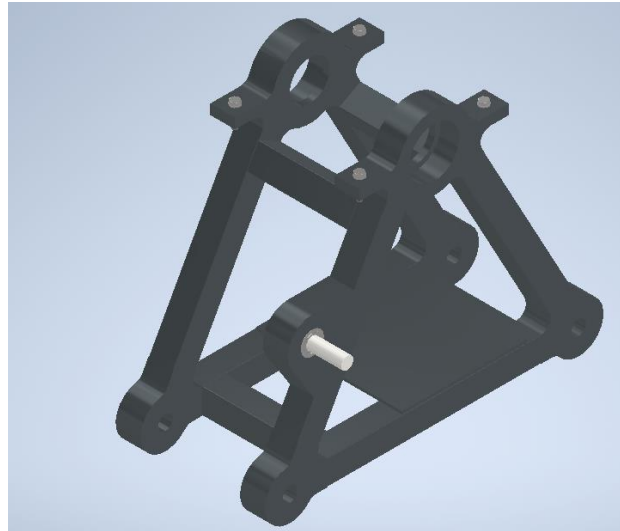


Figura 15-Modelo CAD do carrinho de deslocamento do braço

O sistema mais importante da máquina é o braço. Sua função é rotacionar o molde em dois eixos. Para isso, ele é fixado no carrinho de deslocamento por meio de sua parte cilíndrica à esquerda. Por dentro dessa parte, passa outro eixo que gira duas correntes dentro da caixa principal, cada corrente gira um novo eixo independente, que por sua vez, aciona um par de engrenagens cônicas, responsáveis por girar o eixo principal onde é fixado o molde. Como cada conjunto de engrenagens cônicas é disposto em uma direção, o sentido de rotação de ambos é o mesmo e por simetria as velocidades de rotação são os mesmos. É importante lembrar que essa característica só é possível pelo uso de correntes com o mesmo número de dentes. O eixo principal é ligado a um conjunto de redução planetária, ligado ao braço principal, que faz com que as velocidades de rotação do eixo externo e interno sejam diferentes.

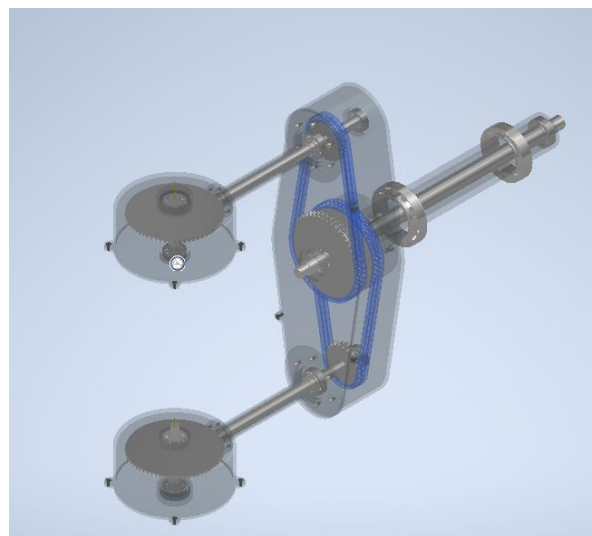


Figura 16-Modelo CAD do braço principal

Além desses subsistemas, ainda existe o conjunto de controle eletrônico, representado pelo computador e tela dentro da carenagem. E existe também o sistema de portas de fechamento do forno, feito eletronicamente por motor de passo próprio em trilhos.

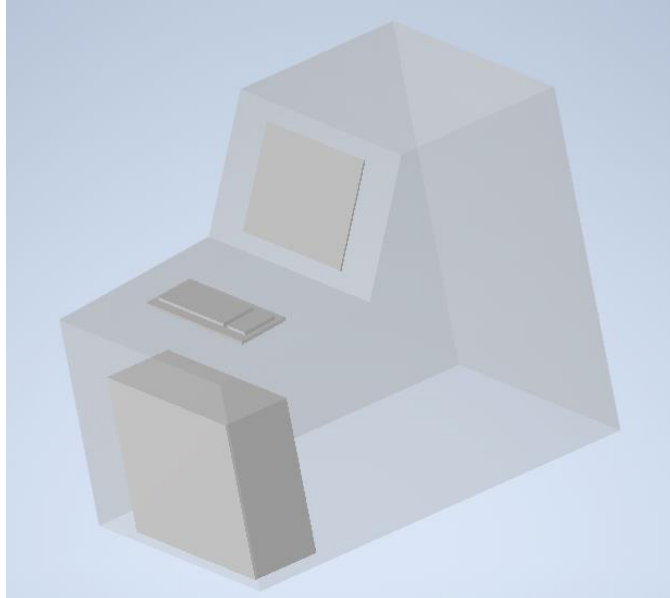


Figura 17-Sistema de controle da máquina feita por um computador dentro da carenagem

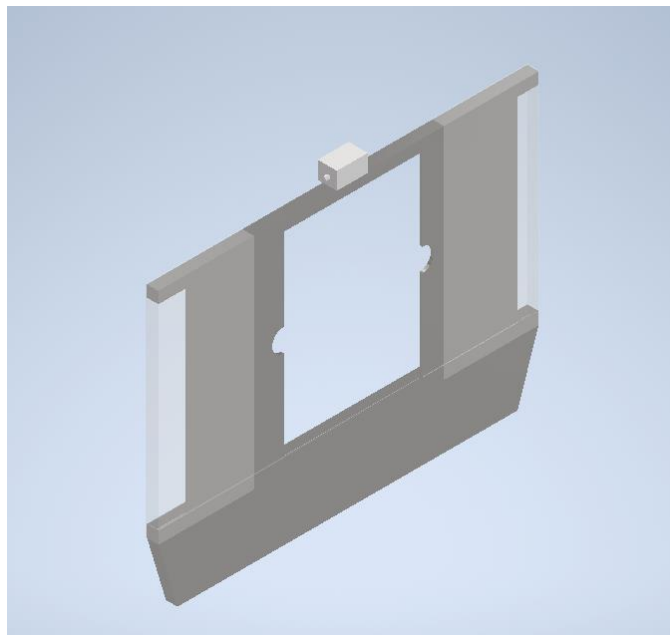


Figura 18-Sistema de portas do forno

O sistema de redução que liga o motor elétrico e o motor são componentes do conjunto total, uma vez que ligam diferentes subsistemas. Mais imagens desses componentes estão na seção de cálculos do memorial pois lá são feitos os dimensionamentos relativos a eles

1.2.8. Fabricação e Montagem

A montagem é feita pelo encaixe dos componentes móveis e fixação dos componentes fixos. Mostra-se nas figuras a seguir alguns dos detalhes de montagem, como a bipartição do carrinho com o braço, a estrutura do braço desmontada e a fixação do motor principal.

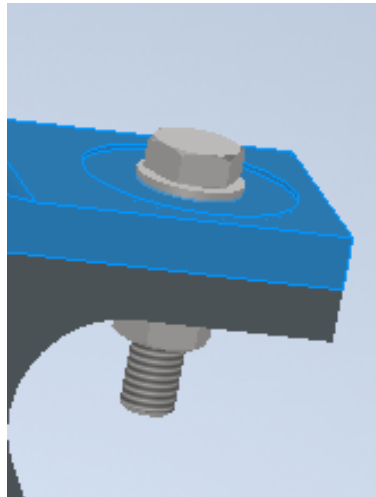


Figura 19-Detalhe da fixação do mancal do braço principal

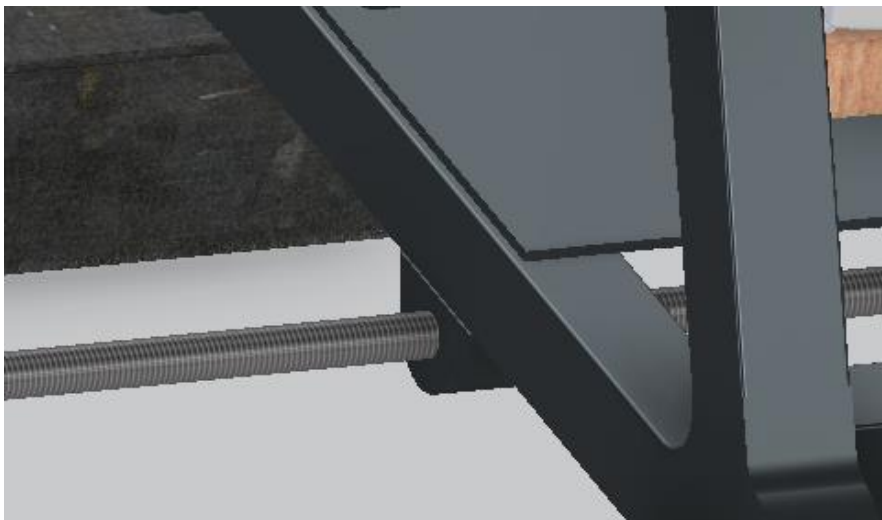


Figura 20-Detalhe do funcionamento do Fuso que move o carrinho

Novamente, as ideias representadas nos desenhos acima mostram alguns detalhes do projeto no que se relaciona com fabricação e montagem, mas essas ideias foram sendo implementadas à medida que o projeto de desenvolveu, sendo um processo integrado.

Vale a pena observar que algumas características necessárias para a montagem de componentes foram observadas, como por exemplo, a necessidade da criação de rasgos nas quinas dos eixos para o correto encaixe dos rolamentos, assim como a presença de chanfros nos eixos e outros recursos desse tipo. Não estão presentes canais de óleo nem reservatórios ou olhais, pois se imaginou que, devido às relativas baixas velocidades e forças envolvidas, a lubrificação à graxa seria ideal.

1.2.9. Controle

Para que todo o conjunto funcione de forma efetiva, deve ser garantido um padrão de qualidade no que diz respeito às dimensões. Por essa razão, todo conjunto mecânico deve estar dentro de um intervalo de erros aceitáveis. Por causa da aplicação deste projeto, onde não são necessárias grandes precisões dimensionais e de montagem, imagina-se que a maior parte das especificações de metrologia pode ser subentendida pela qualidade do processo de fabricação usual da peça.

As exceções são em peças que exigem um rigor adicional no que se refere à sua montagem ou mesmo movimentação. Nesses casos, as tolerâncias dimensionais ou de qualidade de superfície estão indicadas nos desenhos técnicos, sendo que alguns estão nos anexos.

1.2.10. Descrição geral da operação e manutenção do produto

Pelo funcionamento descrito na seção 1.3.4 e ainda pelas observações feitas nas seções 1.3.5 e 1.3.6, é possível notar que a máquina em questão tem o funcionamento muito simples. Nenhum detalhe da montagem é estranho a pessoas experientes em manutenção, então essa seção será ocupada somente por observações pertinentes.

A primeira delas é que toda a lubrificação do equipamento é feita por graxa. Os rolamentos utilizados são todos comerciais e a sua manutenção deve seguir o manual do fabricante, de acordo com as condições de operação da máquina. Além disso, deve-se seguir o procedimento correto de desmontagem de componentes elétricos e eletrônicos, segundo normas vigentes, além do uso de EPI.

1.2.11. Considerações sobre a Segurança de Operação - Projeto

A máquina projetada possui controle eletrônico de todas as duas funções mais importantes: movimentação do carrinho, do braço e da porta do forno. Todos os demais critérios de operação são definidos pelo computador, o que faz com que a operação da máquina possa ser feita sentado, o que traz grande conforto para o operador, seguindo o estipulado pela NR17.

Apesar disso, existem momentos em que a operação não pode ser feita remotamente, e então cabe ao operador manusear cautelosamente alguns dos dispositivos da máquina. Esses momentos são a troca de moldes e a manutenção. Pela natureza da máquina, nenhuma dessas operações é frequente, então, observando as técnicas das normas NR17 e NR12 no que diz respeito ao peso máximo que pode ser carregado por um trabalhador, a forma de se operar uma máquina desse tipo e demais considerações, não deve haver nenhuma dificuldade em seu uso.

Além do exposto acima, existem ainda algumas características da máquina voltadas à ergonomia, design e segurança presentes na forma de carenagens. Algumas peças tem a função de proteger o operador em condições normais de funcionamento e impedem que ele ou ela toquem em partes móveis acidentalmente. Essas carenagens também são coloridas de forma a chamar atenção para partes móveis e quentes, ainda mantendo um design agradável e harmonioso.

1.2.12. Considerações sobre a descontinuidade do produto

A descontinuidade de produto é uma preocupação recente no projeto de máquinas. Pode-se até caracteriza-la como a última fase de projeto, onde se planeja o ciclo de vida da máquina. Ela é resultado das preocupações ambientais e com a necessidade de tornar a economia mais circular, ou seja, fazer com que os materiais usados na construção das máquinas tornem-se matéria prima para a fabricação de novos produtos.

Um das maneiras que esse objetivo é atingido nesse processo é pelo uso de peças padronizadas em várias partes. Assim, a substituição de peças danificadas pode ser feita sem que todo o conjunto seja substituído. Outra característica que melhora o impacto ambiental da manufatura deste produto é o fato de ela ser feita quase que completamente em metal, que é reciclável.

1.2.13. Conceito

Feitas todas as considerações das seções anteriores, apresenta-se aqui imagens do modelo CAD feito para a máquina completa. Chama-se atenção para o esquema de cores, dispostas de forma a chamar atenção para componentes móveis, conforme explicado na seção 1.3.9.

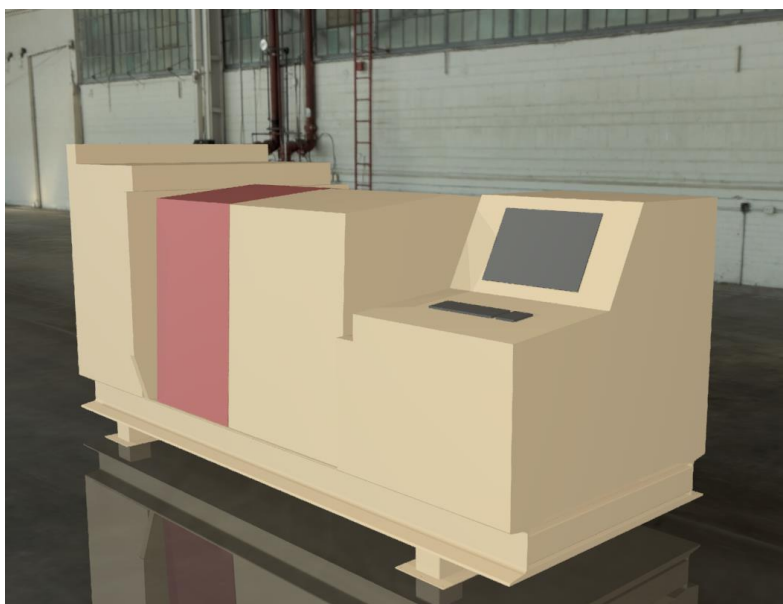


Figura 21-Renderização do modelo CAD mostrando conceito final

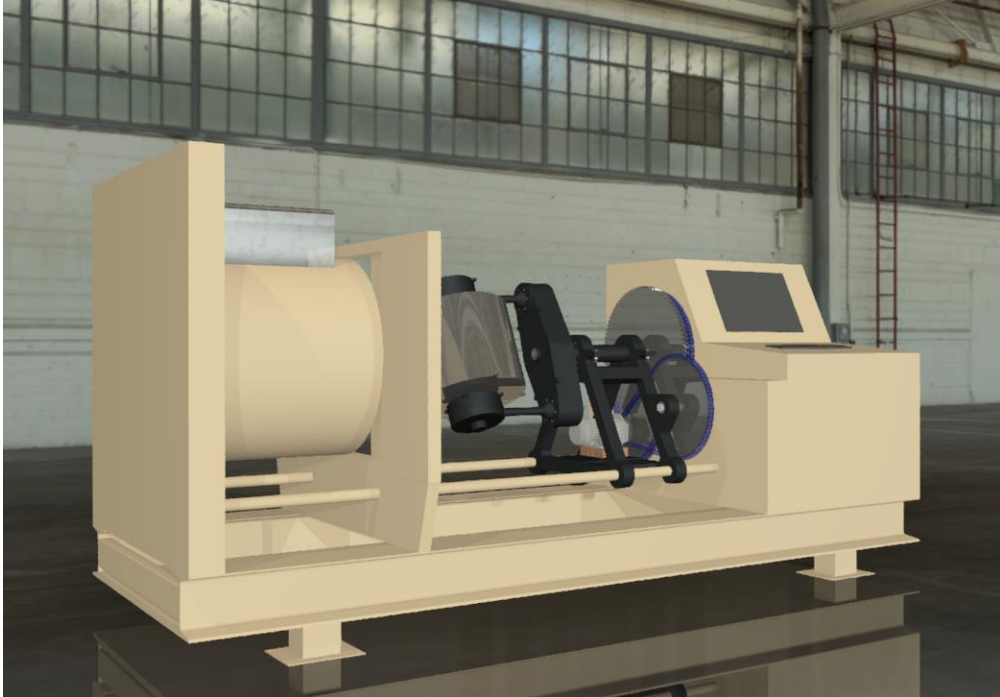


Figura 22-Renderização do modelo CAD mostrando conceito final sem a carenagem

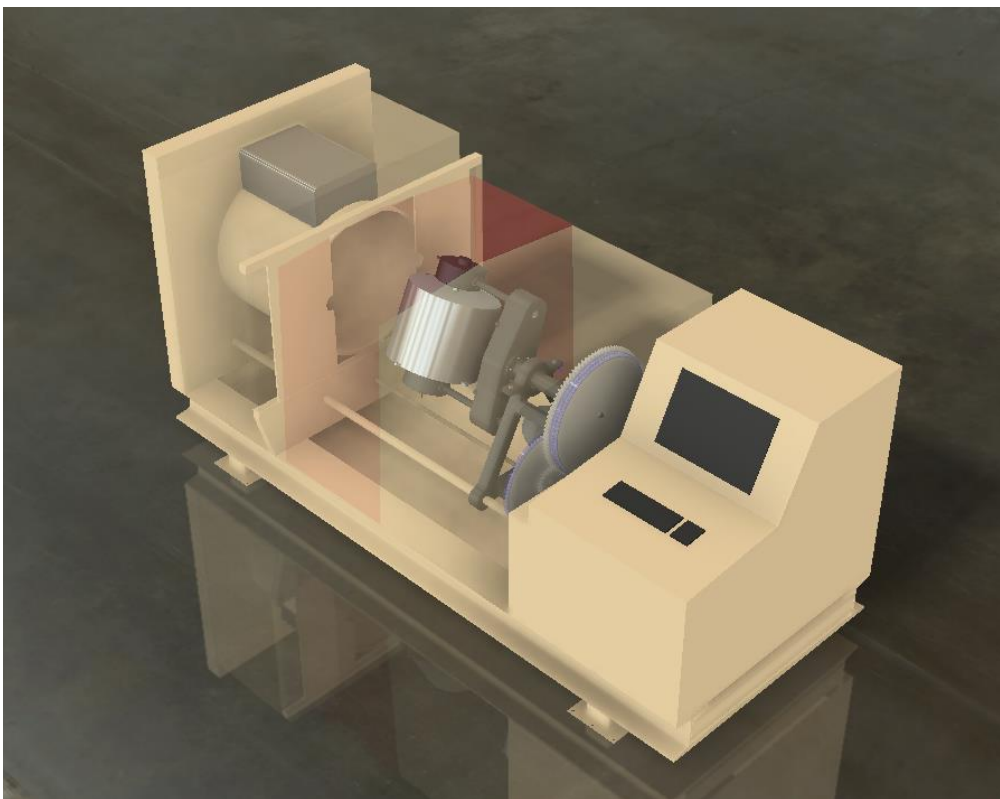


Figura 23-Conceito final em outro ângulo com carenagem transparente

2. MEMORIAL DE CÁLCULO

Em um projeto como esse, existem centenas de componentes individuais, sujeitos a cargas estruturais estáticas e dinâmicas. Para cada um deles, devem ser feitas considerações em relação ao comportamento à fadiga, à corrosão, às mudanças de temperatura, à lubrificação, entre outros. No projeto mecânico real, porém, nem todas essas considerações são feitas, uma vez que alguns componentes são sujeitos a tensões e esforços com ordens de magnitude maiores que os outros, sendo assim, só alguns componentes críticos realmente são calculados.

A escolha de quais componentes devem ser calculados dessa forma, porém, não é uma atividade trivial. A experiência do projetista é fundamental para que componentes importantes não sejam subestimados.

De qualquer forma, neste trabalho, não foi possível fazer uma análise minuciosa de todos os componentes. Os cálculos principais se concentraram na determinação do motor correto para essa aplicação e a verificação de alguns cálculos de engrenagens e eixos.

2.1. Condições de Operação

Antes de calcular a potência do motor necessária, é preciso estabelecer qual será a sua condição de funcionamento. O Handbook sugere uma velocidade angular no eixo axial do molde de 8 RPM e uma velocidade do eixo principal de 6 RPM. Como as reduções necessárias para transformar um motor trifásico de 1800RPM seriam muito grandes, preferiu-se usar um inversor de frequências para deixar a rotação em 120 RPM.

Assim, a redução do eixo principal deve ser de 1:20 (ou próximo disso) e a do eixo axial do molde deve ser de 1:15 (ou próximo disso). A redução usada para o eixo principal é composta de um conjunto de corrente que reduz em 1:4 e uma engrenagem que reduz de 1:5, gerando assim uma redução de 1:20.

Já o eixo menos tem uma redução pela corrente de 1:3 e das engrenagens cônicas de 1:3. Adicionado à isso temos a redução de 1:2 pela corrente que transfere o torque do motor para o eixo interno. Assim a redução é de 1:18

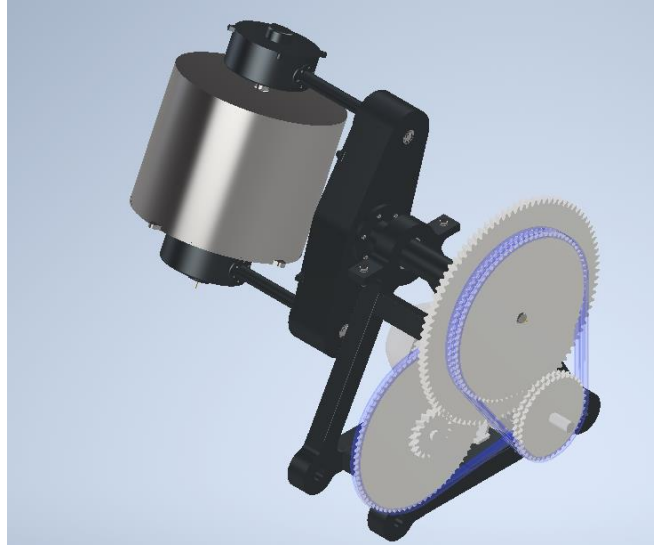


Figura 24-Illustração do sistema de redução

No sistema de redução proposto estão dispostos dois conjuntos: O conjunto acionado por uma correia que aciona o eixo interno que por sua vez, gira o molde em seu eixo axial com auxílio de um conjunto de engrenagens dentro da carcaça. O outro aciona uma corrente que gira uma engrenagem que por sua vez, gira todo o conjunto do braço em torno do eixo principal da máquina. Os dois giram em sentido contrário. A principal vantagem é que eles podem ser acionados por um único motor.

Para cada um desses mecanismos, existe uma eficiência própria. Para essa rotação, significa então uma perda de energia. Esses valores estão dispostos para cada uma das reduções na tabela 3. Ao final, é calculada a eficiência geral do conjunto de transmissão.

Tabela 3-Eficiências

	Quantidade	Tipo de transmissão	Relação	Eficiência
1	1	Corrente	1:4	94%
2	2	Corrente	1:3	94%
3	2	Engrenagem cônica	1:3	85%
4	1	Corrente	1:4	92%
5	1	Engrenagem	1:5	90%
Total	-	-	-	58%

2.2. Determinação da Potência Necessária para O Motor

Com o desenho do molde e do braço no CAD, pode-se então medir a massa e o momento de inércia desses subsistemas. Para acelerar o eixo principal até 6 RPM em 2 segundos, é possível calcular a potência segundo a equação:

$$Pot = T \cdot \omega = I \cdot \alpha \cdot \omega = \frac{I \cdot \omega^2}{\Delta t} \quad (1)$$

A velocidade angular nesse caso é admitida como $\omega = 6RPM = 0,62 \frac{rad}{s}$ e o valor do momento de inércia do conjunto é dado pelo modelo CAD e é de aproximadamente $I = 2kg \cdot$

m^2 , admitindo que a adição de plástico é desprezível no valor do momento de inércia, a potência necessária é de, aproximadamente:

$$Pot = \frac{2,5 * 0,62^2}{2} = 0,48W$$

Fazendo a mesma conta, mas somente para o molde, com momento de inércia $I = 0,5 \text{ kg} \cdot m^2$ e velocidade angular $\omega = 0,84$, temos:

$$Pot = \frac{0,5 * 0,83^2}{2} = 0,18W$$

Podemos então estimar que a potência necessária para girar os dois eixos é alguma coisa perto de:

$$Pot_t = \frac{Pot_1 + Pot_2}{\eta} = 1,13W$$

Essa potência é muito baixa, o que significa que o motor pode ser pequeno. Mesmo assim, é importante lembrar que nesse cálculo básico foi incluído somente as considerações básicas de aceleração de alguns componentes, e que os cálculos para as engrenagens e correntes foi substituído por uma estimativa de eficiência. Dessa forma, o coeficiente de segurança na escolha do motor deve ser alto.

Assim, foi escolhido um pequeno motor trifásico que pode atuar no conjunto inteiro. Os dados do motor a seguir foram utilizados durante o projeto. A potência de 0,12 cv, ou seja, cerca de 88W, é mais que suficiente para as funções exigidas dele, mesmo nos piores casos.

Norma	ABNT NBR 17094	Potência	0.12 cv
Frequência	60 Hz	Fixação	Com pés
Tensão	220/380 V	Flange	FF 115
Número de polos	4	Forma construtiva	B35D
Grau de proteção	IP55	Caixa de ligação ¹	Posição esquerda
Rotação síncrona	1800 rpm	Refrigeração	IC411 - TEFC

Figura 25-Dados do motor selecionado

Além disso, analisando as curvas de performance desse motor, é possível ver que ele realmente possui as características desejadas.

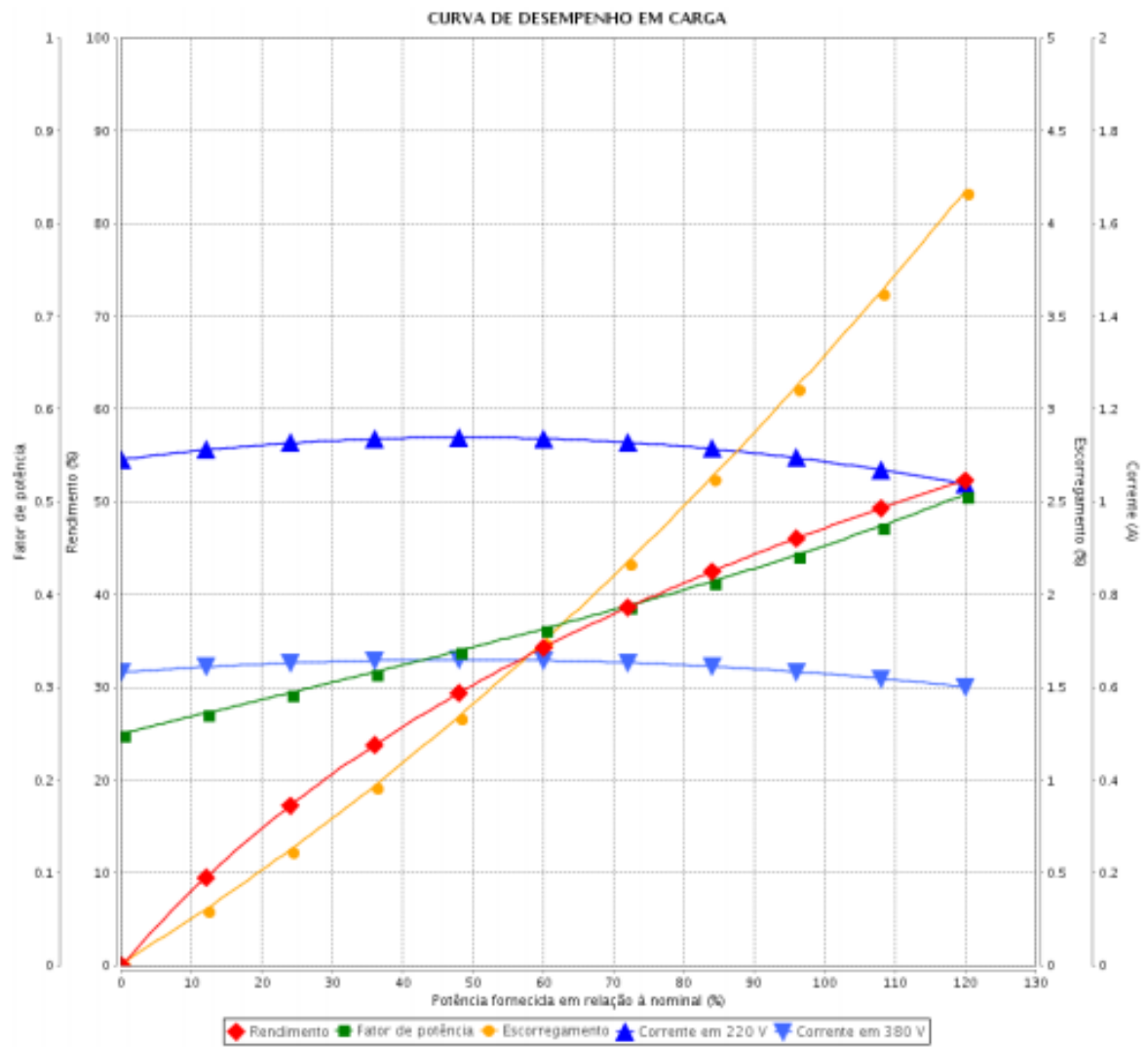


Figura 26-Curva de desempenho em carga para o motor selecionado

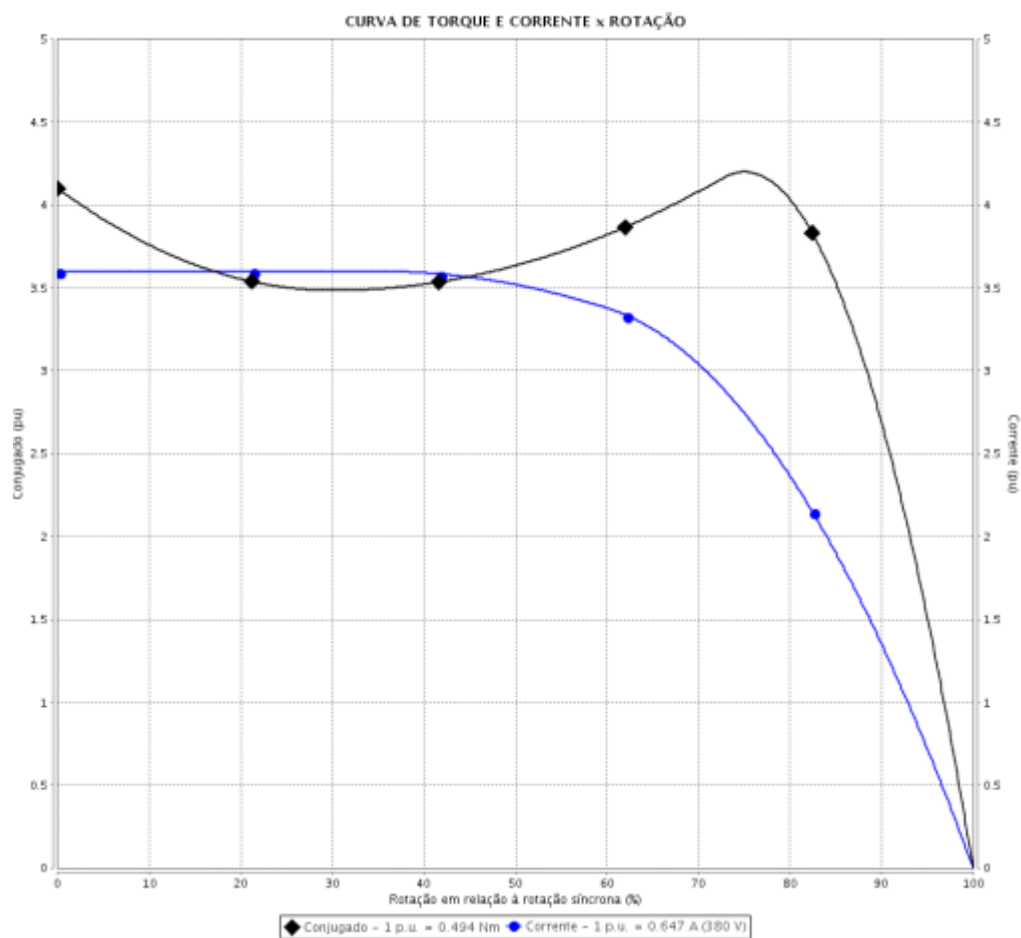


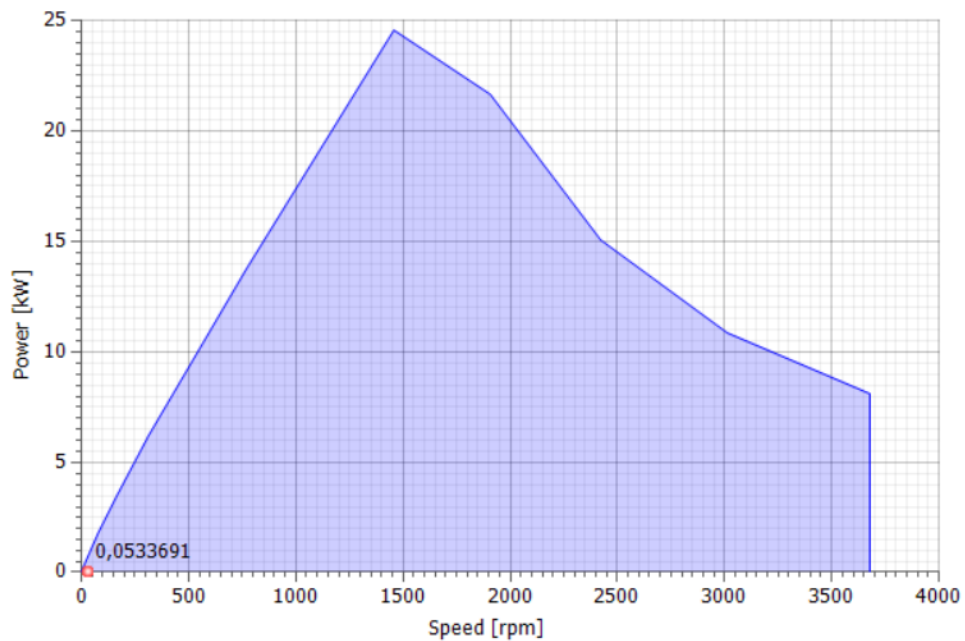
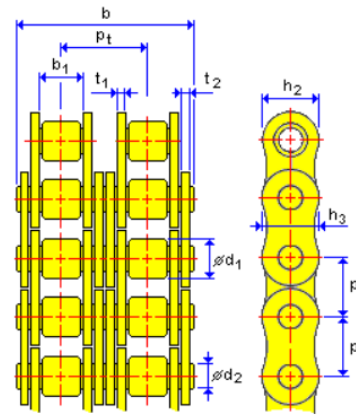
Figura 27-Curva de torque e corrente para o motor selecionado.

Fica claro que na condição de rotação de 120 RPM, a potência fornecida pelo motor é suficiente para realizar a sua função.

Usando esses dados, pode-se dimensionar os elementos de transmissão de 1 a 5, usando o próprio software de CAD CAE Inventor. A metodologia usada pelo software pode ser encontrada no manual de utilização do programa (AUTODESK, 2020). Os principais resultados estão dispostos a seguir.

2.2.1. Transmissão 1

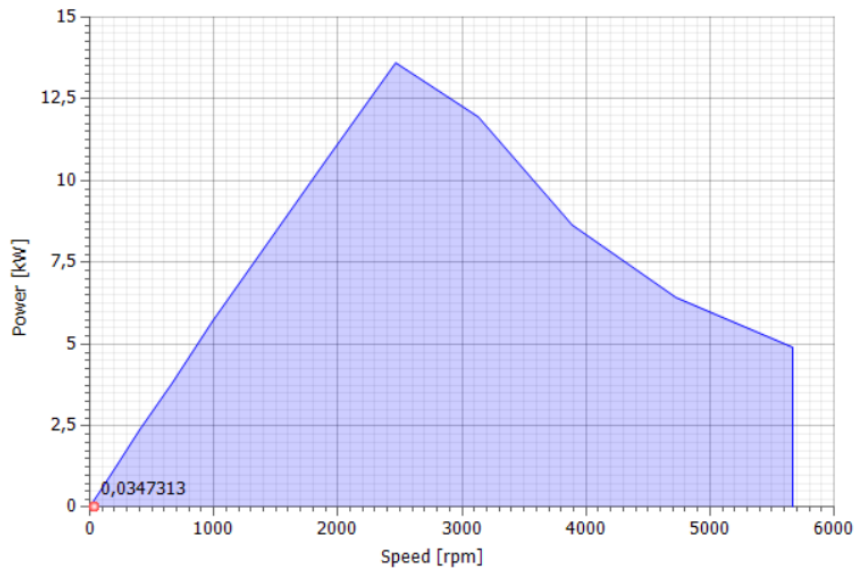
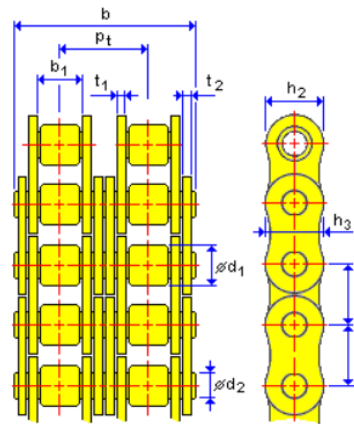
Chain : ISO 606:2004 - Short-pitch transmission precision roller chains (EU)		
Chain size designation		10B-1-98
Pitch	p	15,875 mm
Number of Chain Links	X	98,000 ul
Number of Chain Strands	k	1,000 ul
Minimum width between inner plates	b ₁	9,650 mm
Maximum Roller Diameter	d ₁	10,160 mm
Maximum pin body diameter	d ₂	5,080 mm
Maximum inner plate depth	h ₂	14,730 mm
Maximum outer or intermediate plate depth	h ₃	13,720 mm
Maximum width over bearing pins	b	19,600 mm
Maximum inner plate width	t ₁	1,500 mm
Maximum outer or intermediate plate width	t ₂	1,500 mm
Chain bearing area	A	67,000 mm ²
Tensile Strength	F _u	22200,000 N
Specific Chain Mass	m	0,900 kg/m
Chain construction factor	φ	1,000 ul



Chain Speed	v	0,556 mps
Effective pull	F _p	80,498 N
Centrifugal force	F _C	0,278 N
Maximum tension in chain span	F _{Tmax}	80,777 N
Static safety factor	S _S > S _{Smin}	274,832 ul > 7,000 ul
Dynamic safety factor	S _D > S _{Dmin}	274,832 ul > 5,000 ul
Bearing pressure	p _B < p ₀ * λ	1,206 MPa
Permissible bearing pressure	p ₀	29,895 MPa
Specific friction factor	λ	0,838 ul
Design power	P _D < P _R	0,053 kW
Chain power rating	P _R	1,388 kW
Chain service life for specified elongation	t _h > L _h	1428541 hr
Chain link plates service life	t _{hL} > L _h	2777778 hr
Roller and bushing service life	t _{hr} > L _h	2777778 hr

2.2.2. Transmissão 2

Chain : ASME B29.1M - Precision power transmission bush chains		
Chain size designation		35-2-88
Pitch	p	9,525 mm
Number of Chain Links	X	88,000 ul
Number of Chain Strands	k	2,000 ul
Minimum width between inner plates	b ₁	4,775 mm
Maximum Roller Diameter	d ₁	5,080 mm
Maximum pin body diameter	d ₂	3,581 mm
Maximum inner plate depth	h ₂	8,992 mm
Maximum outer or intermediate plate depth	h ₃	7,798 mm
Maximum width over bearing pins	b	22,860 mm
Maximum inner plate width	t ₁	1,270 mm
Maximum outer or intermediate plate width	t ₂	1,270 mm
Transverse pitch	p _t	10,135 mm
Chain bearing area	A	52,903 mm ²
Tensile Strength	F _u	13309,079 N
Specific Chain Mass	m	2,083 kg/m
Chain construction factor	φ	1,000 ul



Chain Speed	v	0,238 mps
Effective pull	F _p	125,901 N
Centrifugal force	F _C	0,118 N
Maximum tension in chain span	F _{Tmax}	126,020 N
Static safety factor	S _S > S _{Smin}	105,611 ul > 7,000 ul
Dynamic safety factor	S _D > S _{Dmin}	105,611 ul > 5,000 ul
Bearing pressure	p _B < p ₀ * λ	2,382 MPa
Permissible bearing pressure	p ₀	31,626 MPa
Specific friction factor	λ	0,864 ul
Design power	P _D < P _R	0,035 kW
Chain power rating	P _R	0,384 kW
Chain service life for specified elongation	t _h > L _h	1744746 hr
Chain link plates service life	t _{hL} > L _h	2777778 hr
Roller and bushing service life	t _{hr} > L _h	2777778 hr

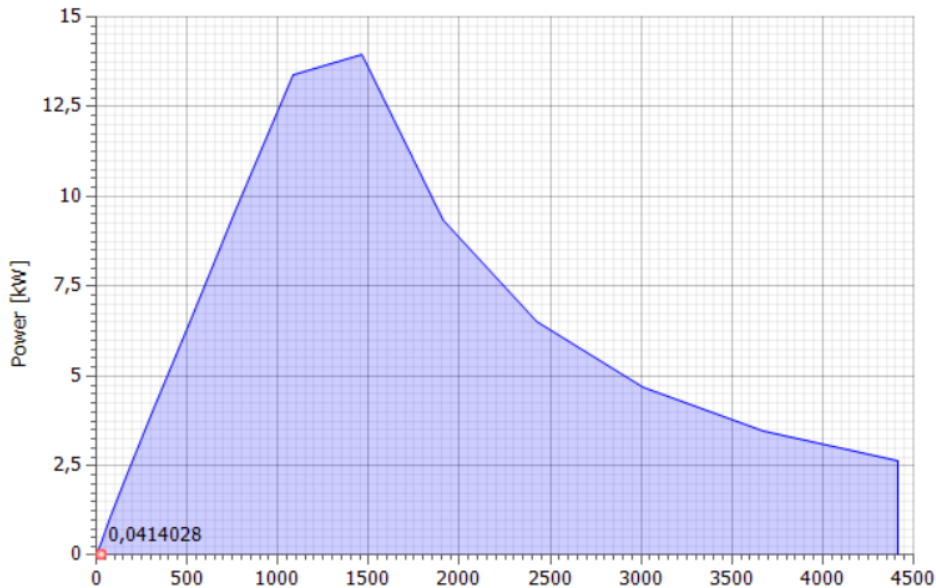
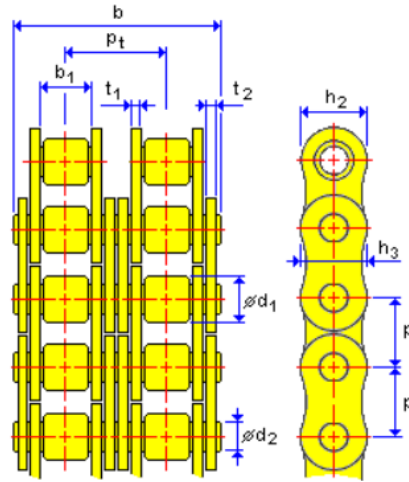
2.2.3. Transmissão 3

Gear Ratio	i	2,8000 ul
Tangential Module	m_{et}	2,500 mm
Helix Angle	β	25,00 deg
Tangential Pressure Angle	α_t	20,0000 deg
Shaft Angle	Σ	90,00 deg
Normal Pressure Angle at End	α_{ne}	18,6607 deg
Normal Pressure Angle in Middle Plane	α_{nm}	18,2561 deg
Base Helix Angle	β_b	23,6624 deg
Helix Angle at End	β_e	21,8948 deg
Module	m	2,320 mm
Contact Ratio	ϵ	2,9902 ul
Transverse Contact Ratio	ϵ_a	1,8463 ul
Overlap Ratio	ϵ_β	1,1439 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_x	0,0110 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_y	0,0055 mm
Virtual Gear Ratio	i_v	7,743 ul
Equivalent Center Distance	a_v	235,678 mm
Virtual Center Distance	a_n	286,924 mm
Pitch Cone Radius	R_e	85,009 mm
Pitch Cone Radius in Middle Plane	R_m	75,009 mm

Factor of Safety from Pitting	S_H	4,017 ul	4,450 ul
Factor of Safety from Tooth Breakage	S_F	3,324 ul	4,923 ul
Static Safety in Contact	S_{Hst}	3,110 ul	3,110 ul
Static Safety in Bending	S_{Fst}	7,188 ul	9,544 ul
Check Calculation		Positive	

2.2.4. Transmissão 4

Chain : ASME B29.1M - Precision power transmission roller chains	
Chain size designation	50-1-104
Pitch	p 15,875 mm
Number of Chain Links	X 104,000 ul
Number of Chain Strands	k 1,000 ul
Minimum width between inner plates	b ₁ 9,525 mm
Maximum Roller Diameter	d ₁ 10,160 mm
Maximum pin body diameter	d ₂ 5,080 mm
Maximum inner plate depth	h ₂ 15,011 mm
Maximum outer or intermediate plate depth	h ₃ 13,005 mm
Maximum width over bearing pins	b 21,082 mm
Maximum inner plate width	t ₁ 2,032 mm
Maximum outer or intermediate plate width	t ₂ 2,032 mm
Chain bearing area	A 69,032 mm ²
Tensile Strength	F _u 21707,321 N
Specific Chain Mass	m 3,110 kg/m
Chain construction factor	φ 1,000 ul



Chain Speed	v	0,635 mps
Effective pull	F _p	70,442 N
Centrifugal force	F _C	1,255 N
Maximum tension in chain span	F _{Tmax}	71,697 N
Static safety factor	S _S > S _{Smin}	302,767 ul > 7,000 ul
Dynamic safety factor	S _D > S _{Dmin}	302,767 ul > 5,000 ul
Bearing pressure	p _B < p ₀ * λ	1,039 MPa
Permissible bearing pressure	p ₀	28,160 MPa
Specific friction factor	λ	1,081 ul
Design power	P _D < P _R	0,041 kW
Chain power rating	P _R	1,620 kW
Chain service life for specified elongation	t _h > L _h	1200264 hr
Chain link plates service life	t _{hL} > L _h	2777778 hr
Roller and bushing service life	t _{hr} > L _h	2777778 hr

2.2.5. Transmissão 5

Gear Ratio	i	5,1111 ul
Desired Gear Ratio	i_{in}	5,0000 ul
Module	m	5,500 mm
Helix Angle	β	20,0000 deg
Pressure Angle	α	20,0000 deg
Center Distance	a_w	321,657 mm
Product Center Distance	a	321,914 mm
Total Unit Correction	Σx	-0,0466 ul
Circular Pitch	p	17,279 mm
Base Circular Pitch	p_{tb}	17,146 mm
Operating Pressure Angle	α_w	19,8655 deg
Tangential Pressure Angle	α_t	21,1728 deg
Tangential Operating Pressure Angle	α_{tw}	21,0542 deg
Base Helix Angle	β_b	18,7472 deg
Tangential Module	m_t	5,853 mm
Tangential Circular Pitch	p_t	18,388 mm
Contact Ratio	ϵ	1,9444 ul
Transverse Contact Ratio	ϵ_a	1,5485 ul
Overlap Ratio	ϵ_β	0,3959 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_x	0,0110 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_y	0,0055 mm

Factor of Safety from Pitting	S_H	2,819 ul	3,045 ul
Factor of Safety from Tooth Breakage	S_F	10,933 ul	12,057 ul
Static Safety in Contact	S_{Hst}	2,556 ul	2,761 ul
Static Safety in Bending	S_{Fst}	30,008 ul	32,660 ul
Check Calculation		Positive	

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido nesse trabalho conseguiu demonstrar as fases do desenvolvimento de projeto e chegar a um produto final que atende aos objetivos propostos. Foi respeitada a hierarquia das etapas de projeto e essas etapas ficaram explícitas no desenvolvimento do texto, junto com os apêndices, que mostram a fase de documentação do projeto.

Apesar de cumprir com esses objetivos, a máquina projetada precisa ser submetida a um A marca projetada precisa ser submetida a 1 processo de verificação dos esforços Estruturais e também os esforços dinâmicos devidos às cargas girantes. Existe ainda todo um dimensionamento relacionado às características térmicas e às cargas das térmicas aplicadas ao molde que foi ignorado nesse trabalho. O controle eletrônico temperatura de operação no forno além do controle eletrônico de velocidade de atuação dos elementos girantes também não foi feito. Não houve um dimensionamento dos elementos elétricos de alimentação da máquina. Tudo isso obedecendo o escopo desse trabalho.

Mesmo assim, para que a ideia possa de fato ser patenteada, alguns dos cálculos feitos nesse relatório podem ser refeitos à luz de novas hipóteses e com maior precisão. Novos dimensionamentos térmicos e elétricos podem ser feitos para estudar a viabilidade desse novo modelo em relação aos já existentes. Assim, este trabalho pode ser só o primeiro passo de uma nova tecnologia em máquinas de rotomoldagem.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PUGH, S. **Total design**: integrated methods for successful product engineering. London: Addison Wesley, 1990.

ASIMOW, M. **Introdução ao projeto de engenharia**. São Paulo: Ed. Mestre Jou, 1968.

ROTOLINE. **Máquina para rotomoldagem**, 2020. Disponível em www.rotoline.com/br/lab/. Acesso em: 20 dez. 2020.

Department of The Army (USA). HEADQUARTERS UNITED STATES ARMY MATERIEL COMMAND (Coord.). **Engineering design handbook**: rotational molding of plastic powders. 5001 Eisenhower Ave, Alexandria, VA 22333: [s. n.], Abril 1975. 166 p. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a013178.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2020.

SILVA, Izidro Luiz da. **Processo de rotomoldagem para produção de bóia sinalizadora com furo passante**. Depositante: Izidro Luiz da Silva. Procurador: Rogério de Souza. BR n. PI0700818-0 A. Depósito: 14 mar. 2007. Publicação: 28 out. 2008.

TORRES, Antônio Carlos. **Processo para obtenção de reservatório de água com tampa soldável**. Titular: Antônio Carlos Torres. BR n. PI0704326-0 A2. Depósito: 17 out. 2007. Publicação: 23 jun. 2007.

TORRES, Antônio Carlos. **Piscina e/ou tampa obtida por meio de rotomoldagem**. Titular: Antônio Carlos Torres. BR n. PI1000661-3 A2. Depósito: 05 mar. 2010. Publicação: 17 jan. 2012.

NEEDHAM, Donald G. **Polyolefin-based composition for rotational molding**. Titular: Donald G. Needham. CA2143240A1 Depósito: 23 fev. 1995. Publicação: 17 jun. 1996.

NEEDHAM, Donald G. **Nucleated Polyolefin-based composition for rotational molding**. Titular: Donald G. Needham. CA2163138A1 Depósito: 17 nov. 1995. Publicação: 10 jun. 1996.

MALLETTE, RÉJEAN. **Seamless punching balloon and process of manufacture thereof**. Depositante :Lesperance & Martineu. Titular: Mallette, RéJean. CA 2 292 196 A1 Depósito: 15 dec. 1999. Publicação: 21 jun. 2000.

VERONA, Monzón. et al. **Útil normalizado para el rotomoldeo de piezas de plástico que permite referenciar la cáscara electroformada com respecto a la máquina de rotomoldeo.** Depositante: Universidad de las Palmas de Gran Canaria. ES 2 304 839. Depósito: 02 abr. 2007. Publicação: 16 out. 2008.

VCELAK, Pavel; MEDUNA, Bohumil; SPRACHTA Michal; DOUCEK, Miroslav; JIRAK, Richard; JANDA, Leos. **Corlasten materials – thermoplastic polymers for rotomolding filled with powdery corundum.** Titular: Pavel Vcelak, Bohumil Meduna, Michal Sprachta. Miroslav Doucek, Richard Jirak, Leos Janda. Depositante: Svatava Nemcova. WO2008/046360 A1. Depósito: 30 mar. 2007. Publicação 24 abr. 2008.

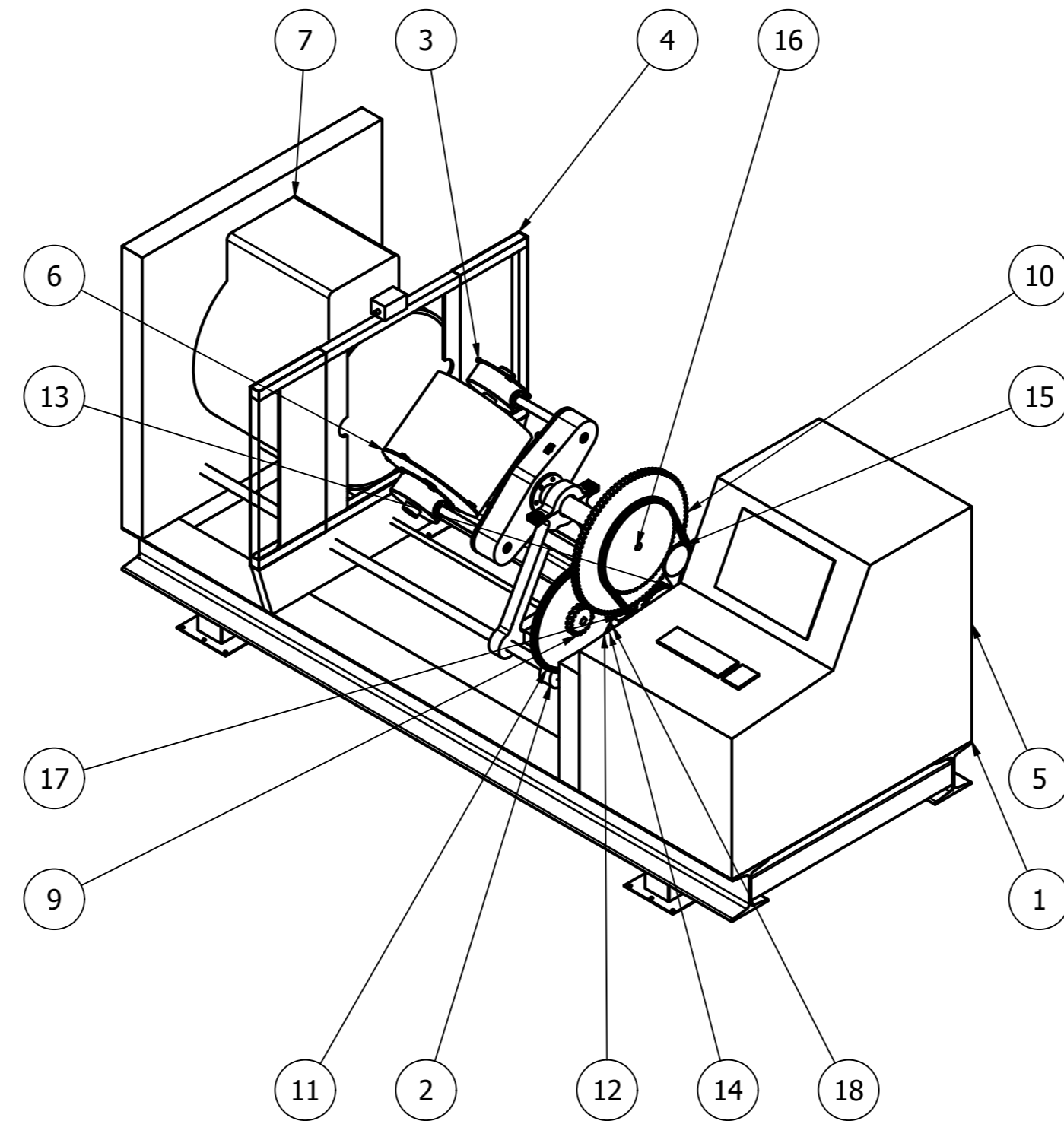
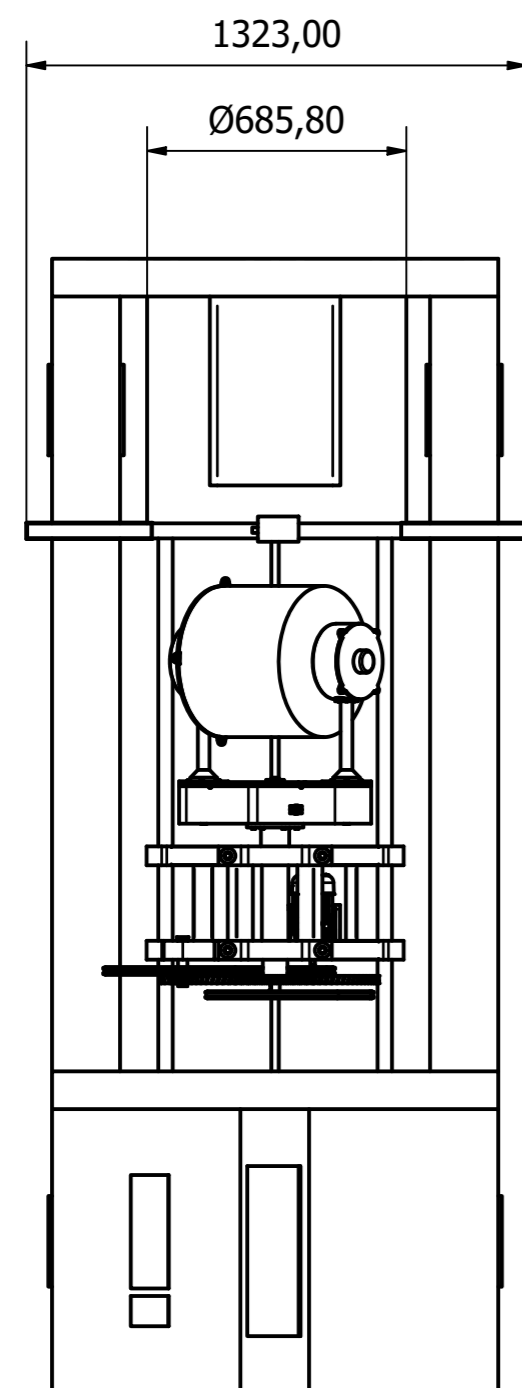
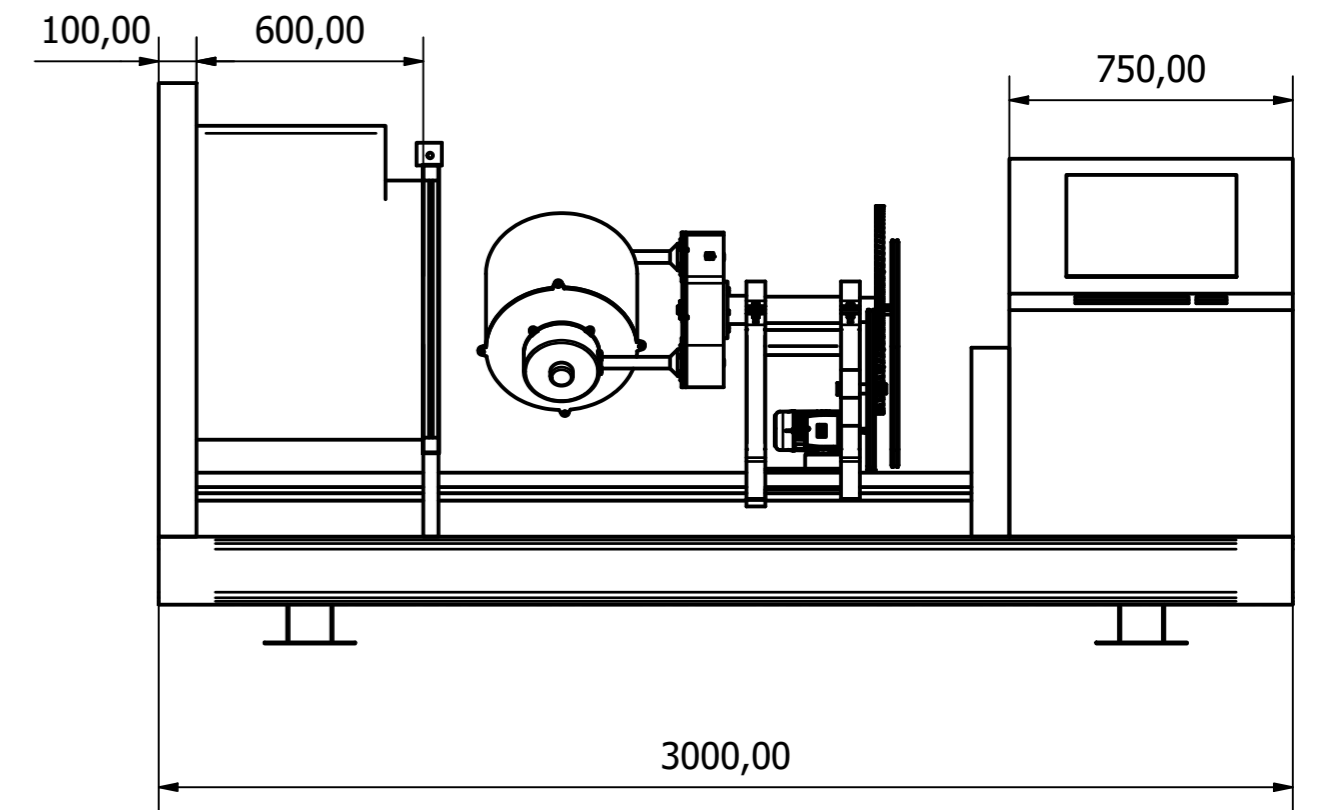
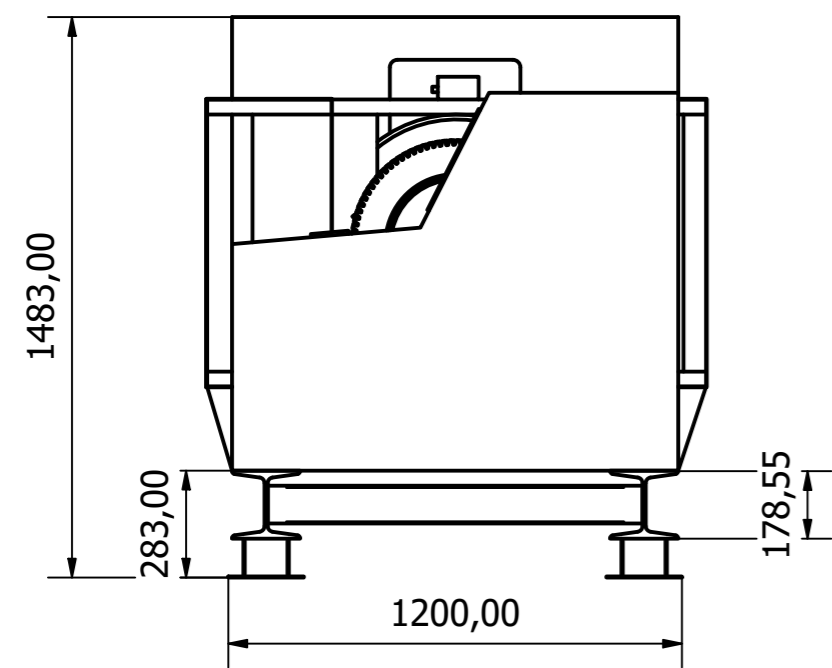
TORRES, Antônio Carlos. **Sistema de posicionamento de moldes para rotomoldagem.** Titular: Antônio Carlos Torres. Depositante: Vilage Marcas e Patentes LTDA. WO2015/036877 A1. Depósito: 29 jul. de 2014. Publicação: 19 mar. de 2015.

JIAN, Chen; XIAOJIANG, Zhou; BINGQIAN, Zhu; GUOCAI, Zhu. **Rotational moulding house.** Depositante: Wenling Risingsun Rotomolding Tech Co LTD. CN107558611A. Depósito: 01 set. de 2018. Publicação: 02 fev. de 2018

YIBO, Yuan. **Electromagnetic heating oven.** Depositante: Polymer Rotomolding Company Ltd. CN207783188U. Depósito: 14 dez. de 2017. Publicação: 28 ago. de 2018

5. APÊNDICES

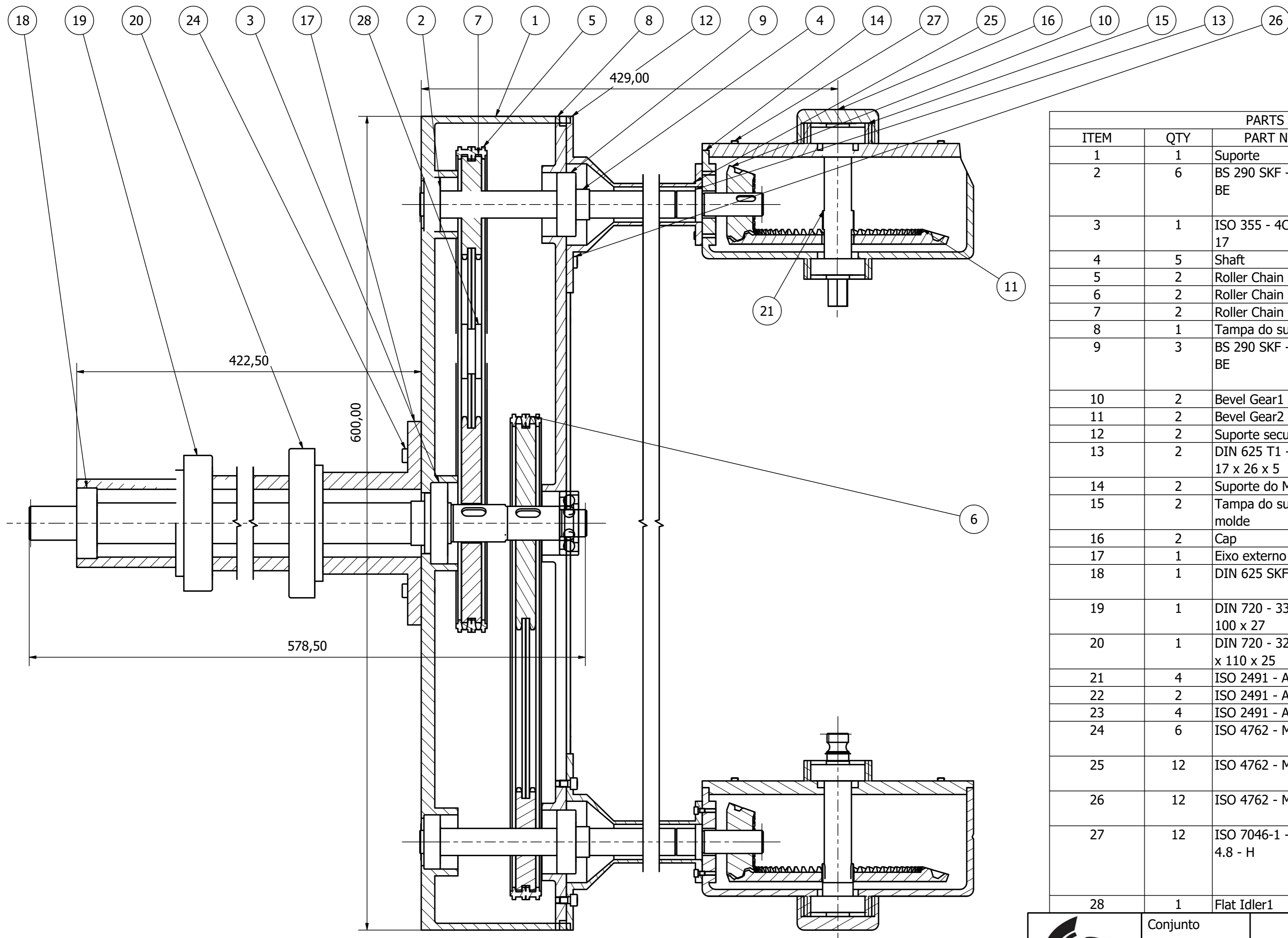
5.1. Apêndice A - Desenhos



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	FRAME0397	
2	1	Carrinho	
3	1	Braço	
4	1	Mecanismo da porta do forno	
5	1	Central de comando	
6	1	Molde	
7	1	Aquecedor do forno	
8	1	Carenagem	
9	1	Spur Gear1	
10	1	Spur Gear2	
11	2	Roller Chain	
12	2	Roller Chain Sprocket1	
13	2	Roller Chain Sprocket2	
14	1	Roller Chain Sprocket3	
15	1	Flat Idler1	
16	1	ISO 2491 - B 8 x 5 x 18	Thin parallel keys
17	1	W63_LEFT	STEP AP203
18	1	Calço do motor	



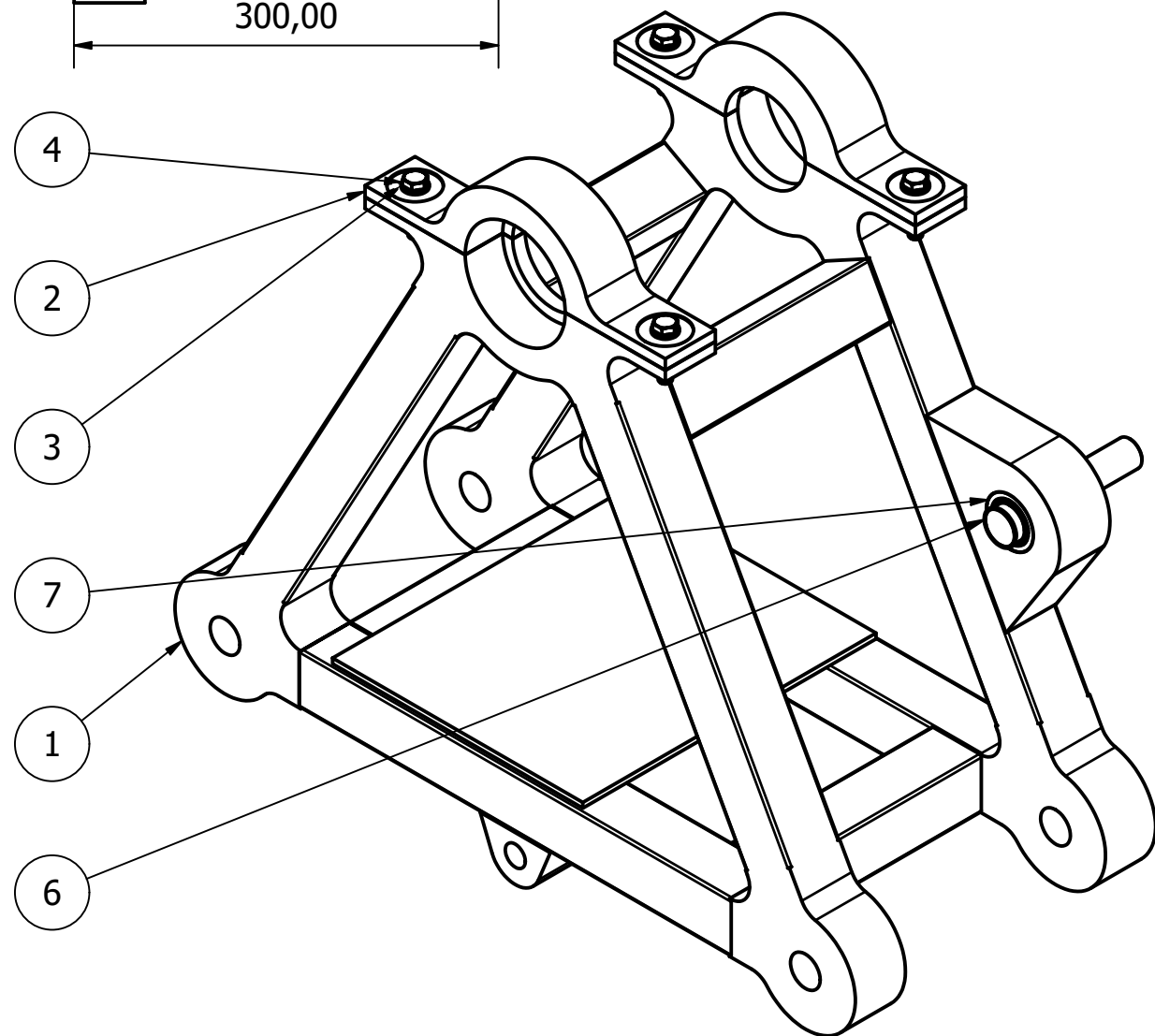
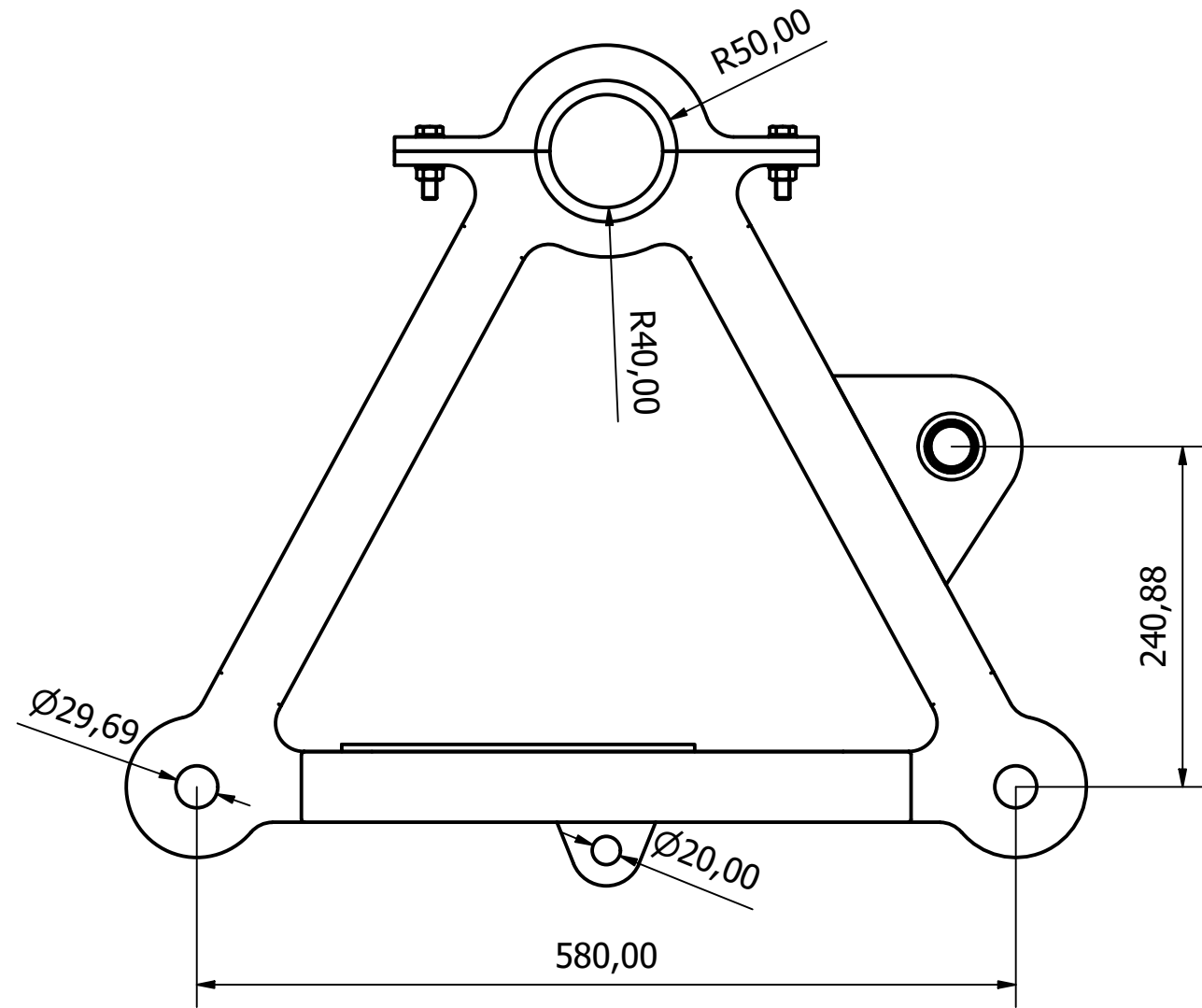
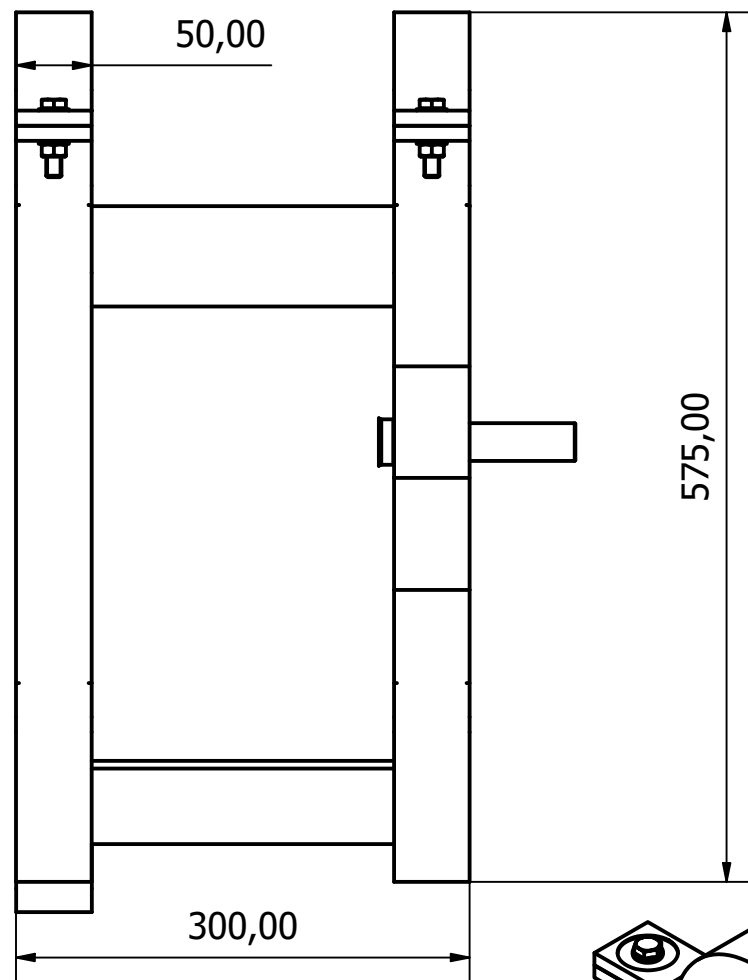
Conjunto			Aluno
Componente	MiniMaquinaRotomoldagem.iam		Heitor Tiburcio
	Escala	Data	Prof.
	1:20	22/12/2020	Fortulan



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Suporte	
2	6	BS 290 SKF - SKF 7203 BE	Single row angular contact ball bearings SKF
3	1	ISO 355 - 4CB 30 x 60 x 17	Tapered Roller Bearing
4	5	Shaft	
5	2	Roller Chain	
6	2	Roller Chain Sprocket1	
7	2	Roller Chain Sprocket2	
8	1	Tampa do suporte	
9	3	BS 290 SKF - SKF 7204 BE	Single row angular contact ball bearings SKF
10	2	Bevel Gear1	
11	2	Bevel Gear2	
12	2	Suporte secundário	
13	2	DIN 625 T1 - 61803 - 17 x 26 x 5	Deep Groove Ball Bearing
14	2	Suporte do Molde	
15	2	Tampa do suporte molde	
16	2	Cap	
17	1	Eixo externo principal	
18	1	DIN 625 SKF - SKF 6205	Single row ball bearings SKF
19	1	DIN 720 - 33013 - 65 x 100 x 27	Tapered Roller Bearing
20	1	DIN 720 - 32014X - 70 x 110 x 25	Tapered Roller Bearing
21	4	ISO 2491 - A 6 x 4 x 14	Thin parallel keys
22	2	ISO 2491 - A 5 x 3 x 14	Thin parallel keys
23	4	ISO 2491 - A 8 x 5 x 18	Thin parallel keys
24	6	ISO 4762 - M6 x 16(1)	Hexagon Socket Head Cap Screw
25	12	ISO 4762 - M3 x 5(1)	Hexagon Socket Head Cap Screw
26	12	ISO 4762 - M5 x 8(1)	Hexagon Socket Head Cap Screw
27	12	ISO 7046-1 - M5 x 12 - 4.8 - H	Countersunk flat head screws (common head style) with type H cross recess
28	1	Flat Idler1	

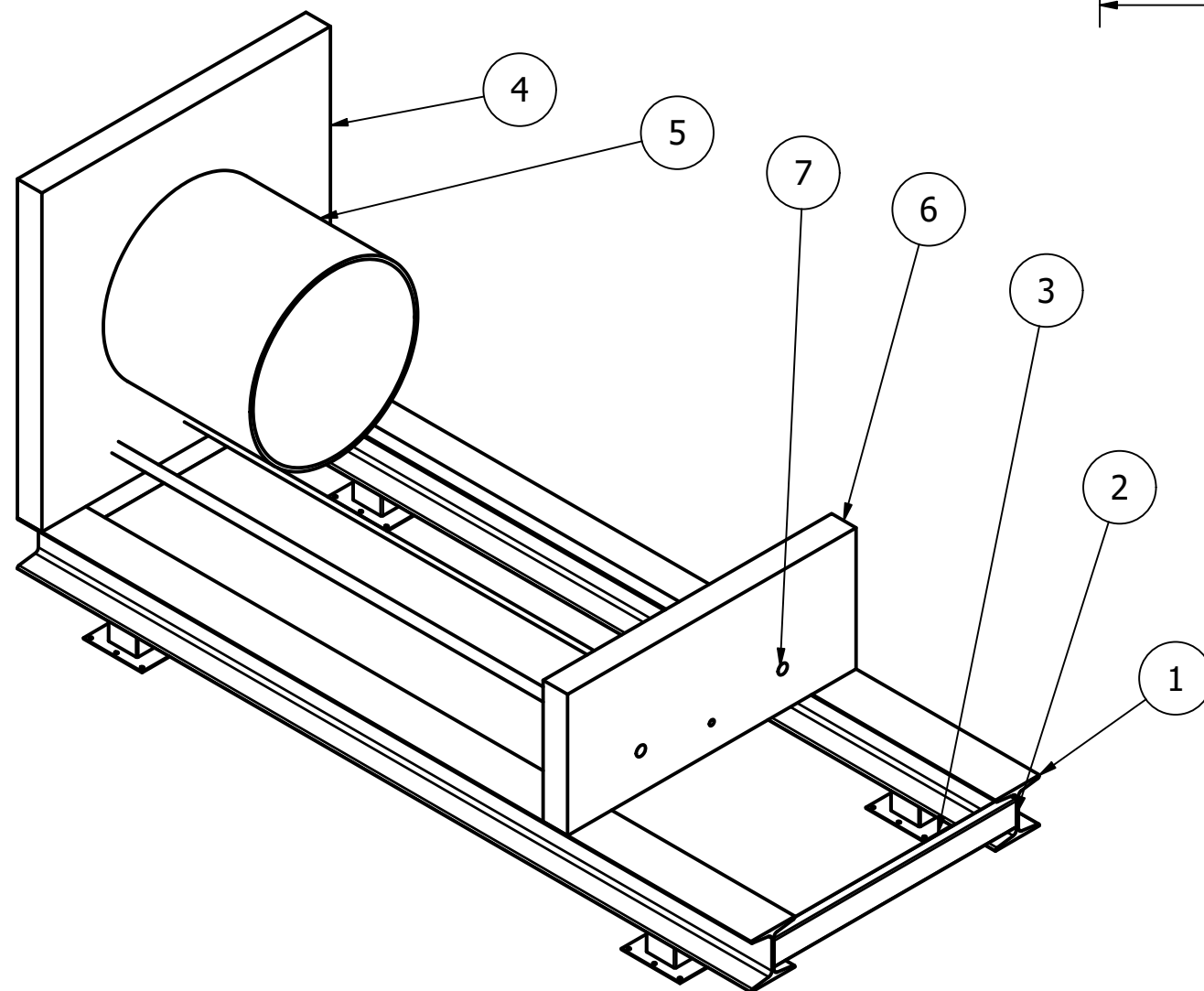
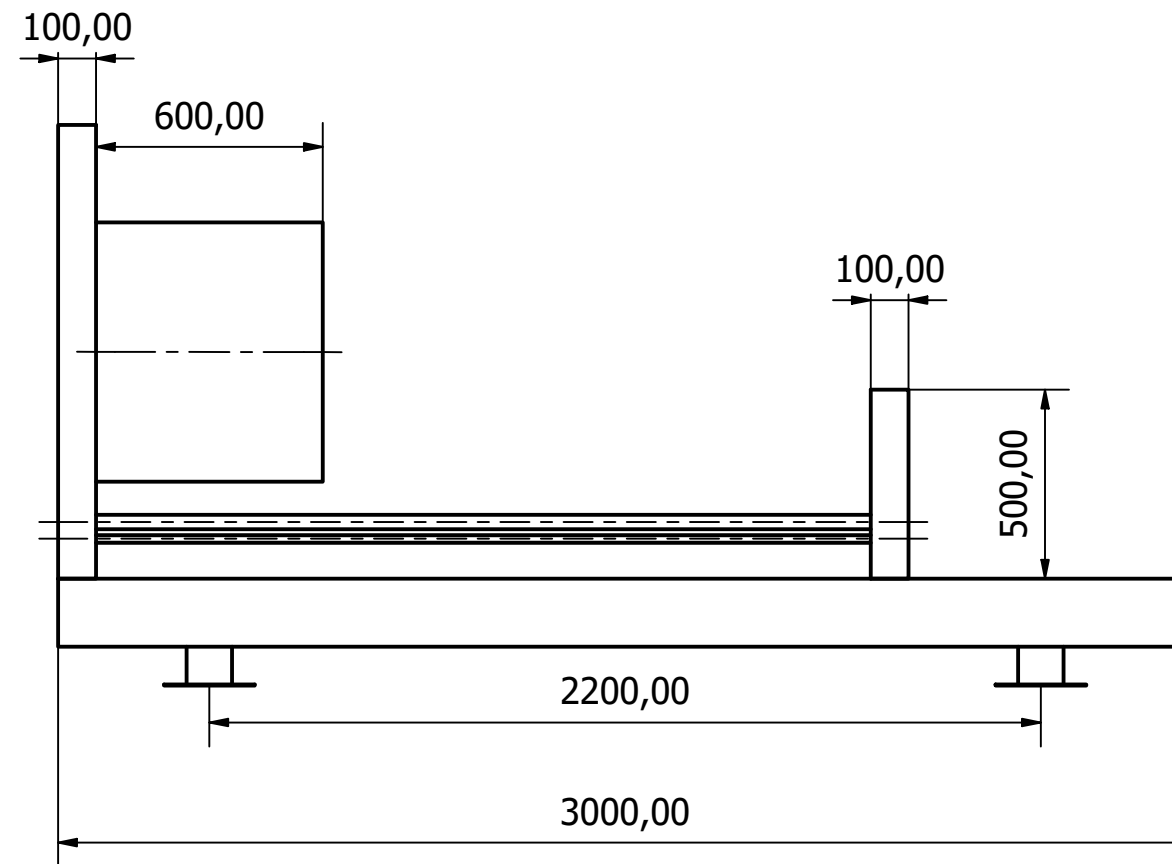
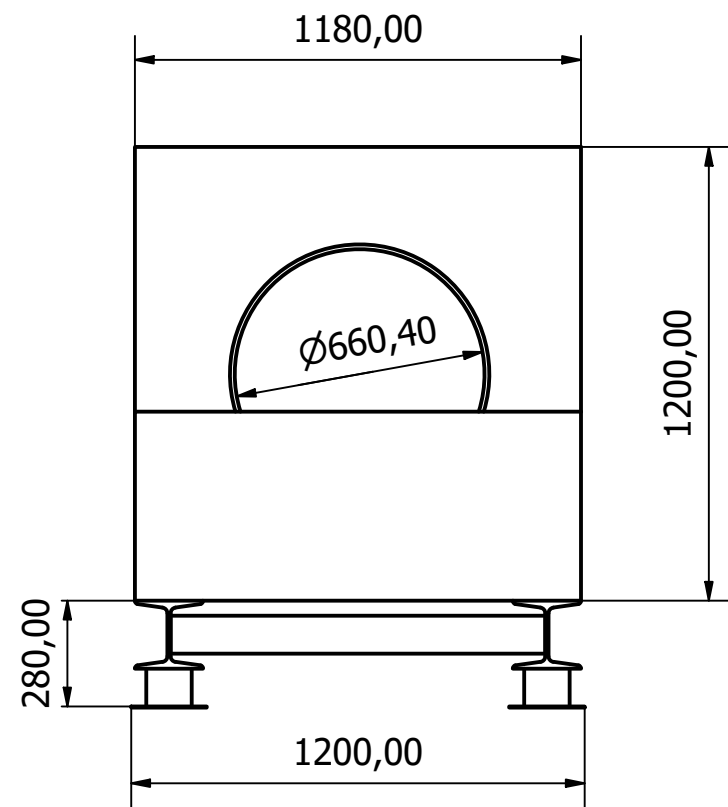


Conjunto			Aluno
Componente	Braço.iam		Heitor Tiburcio
Escala	Data	Prof.	
1:2	22/12/2020	Fortulan	






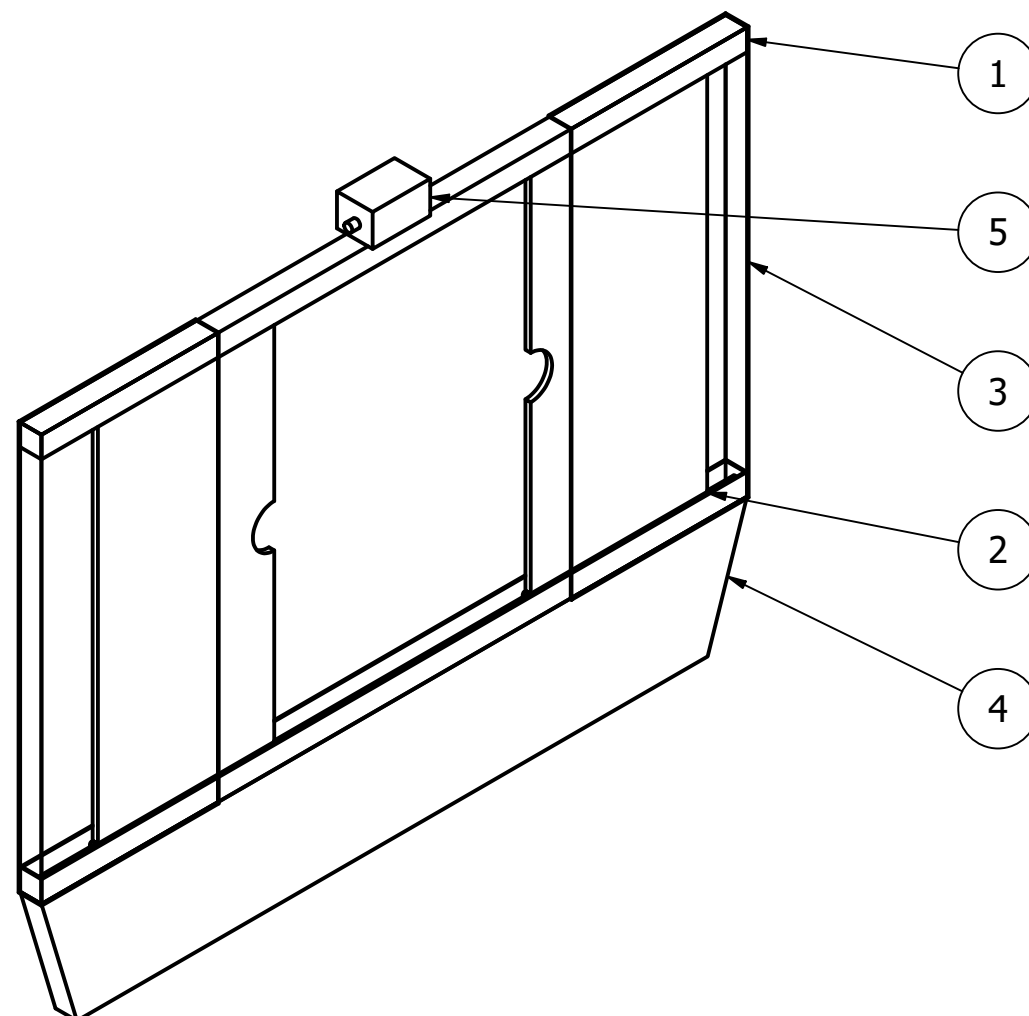
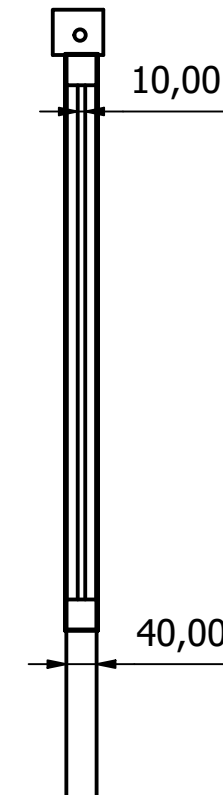
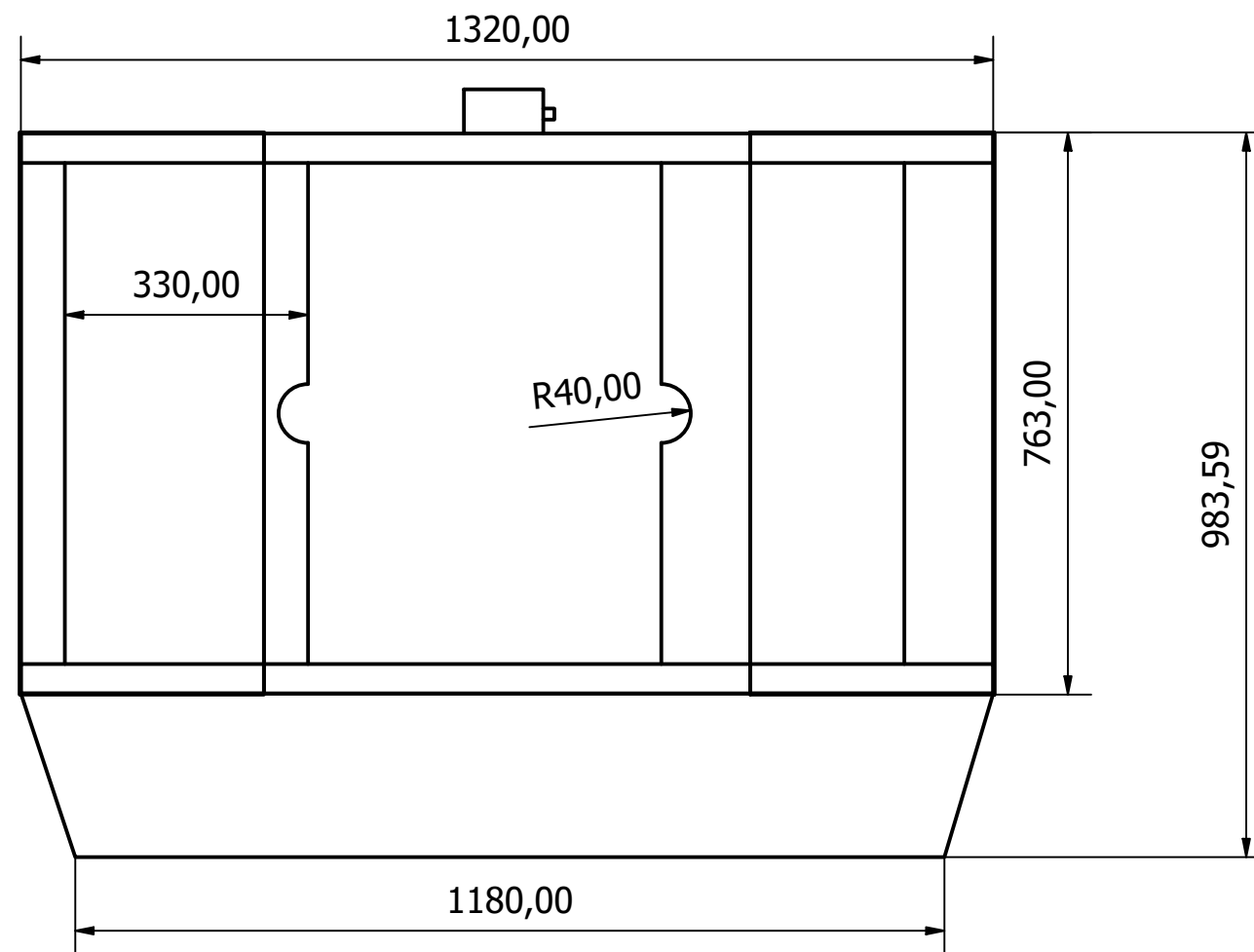
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Carrinho	
2	2	Mancal do carrinho	
3	8	ISO 7089 - 10	Plain washers - Normal series - Product grade A
4	4	ISO 4014 - M10 x 45(3)	Hexagon head bolt - product grades A and B
5	4	ISO 4032 - M10(4)	Hexagon nuts, style 1 - Product grades A and B
6	1	Shaft	
7	2	DIN 720 - 33005 - 25 x 47 x 17	Tapered Roller Bearing

	Conjunto		Aluno Heitor Tiburcio	
	Componente		Carrinho.iam	
		Escala 1:5	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan






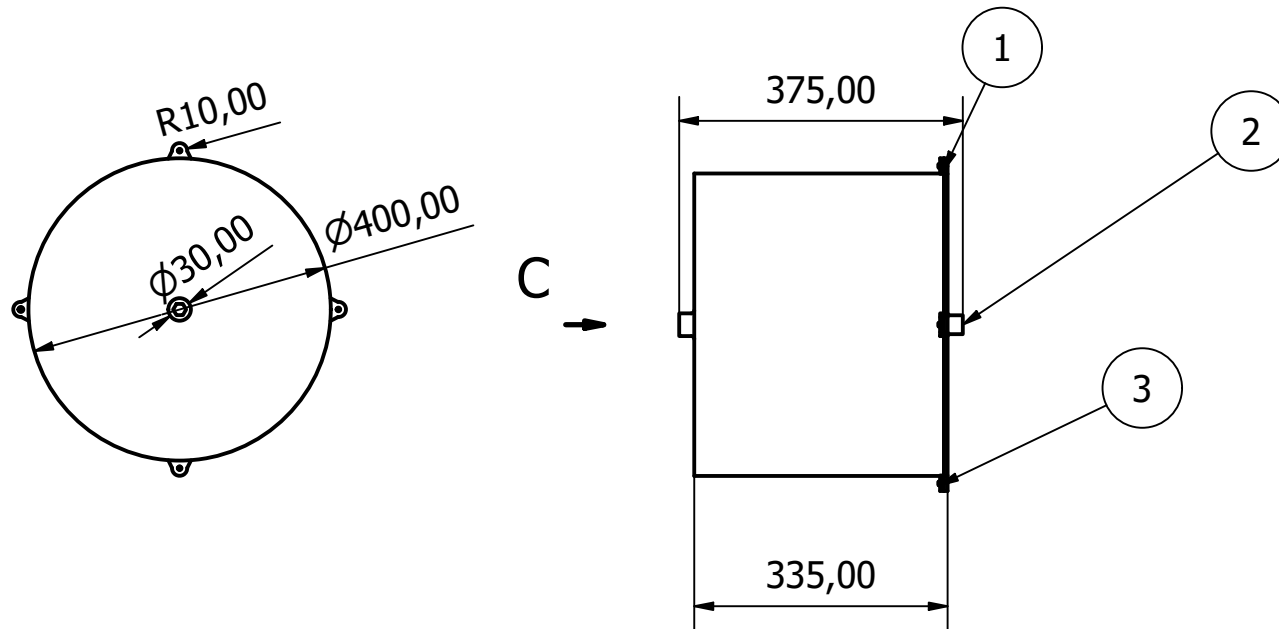
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	6000,000 mm	ISO 657 16 - SC 180 - 3000	Hot-rolled steel sections - part 16: sloping flange column sections (metric series) - Dimensions and sectional properties
2	1983,000 mm	ISO 4019 - 100x40x2.5 - 991,5	Structural steels - Cold-formed, welded, structural hollow sections
3	4	Pé	
4	1	Part22	
5	1	Forno	
6	1	Part25	
7	1	Part26	

	Conjunto		Aluno Heitor Tiburcio	
	Componente		FRAME0397.iam	
	  Escala 1:20	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan	


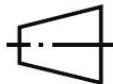



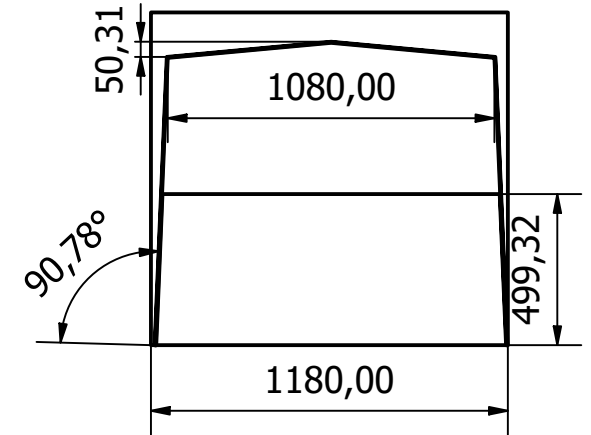
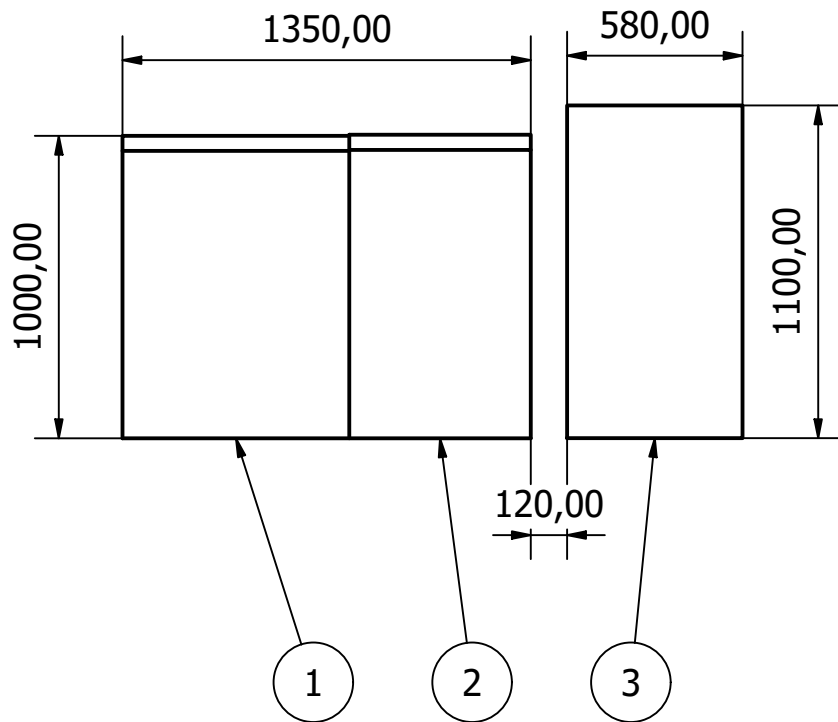
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	2	Base	
2	2	Porta	
3	1	Carenagem	
4	1	Suporte da Porta	
5	1	Motorzinho	

	Conjunto			Aluno
	Componente	Mecanismo da porta do forno.iam		Heitor Tiburcio
	 	Escala 1:10	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan


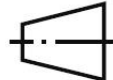



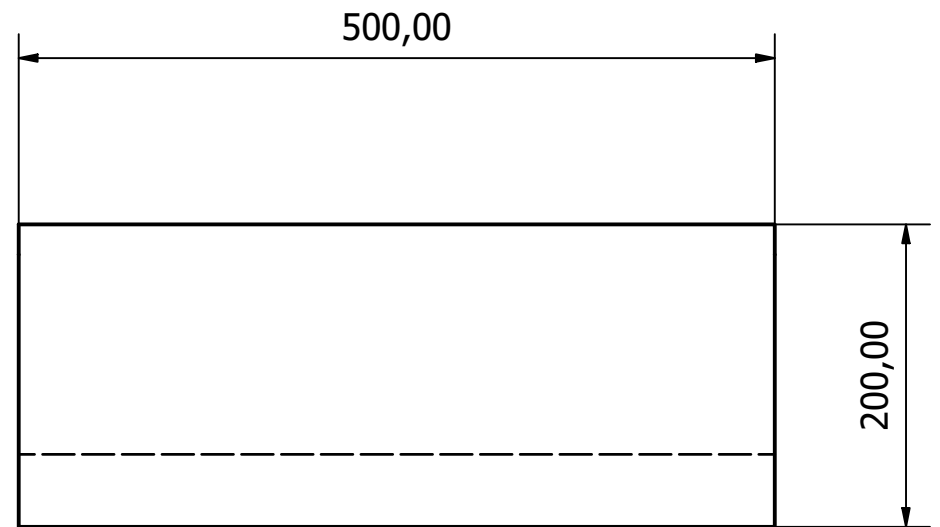
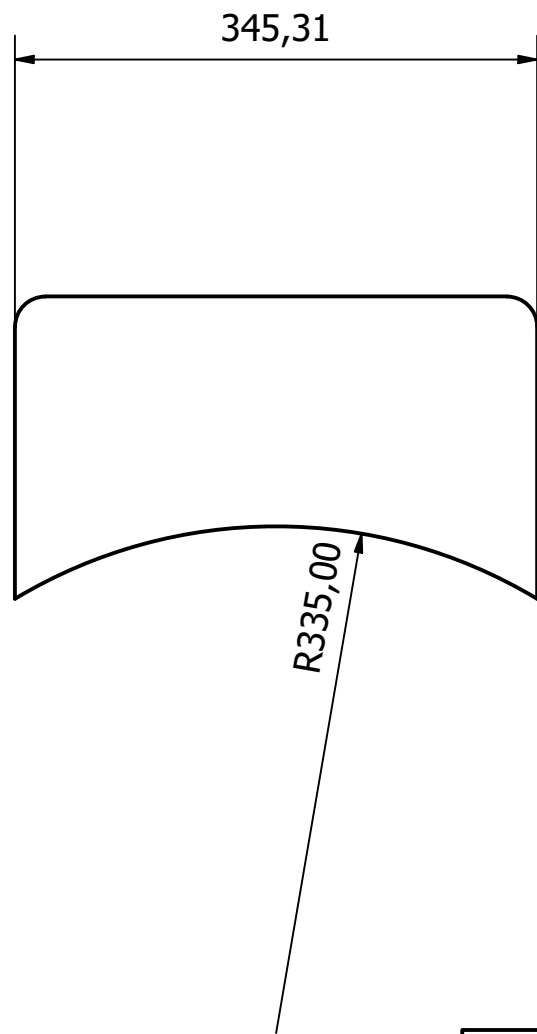
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Molde	
2	1	Tampa do Mold	
3	4	ISO 7046-1 - M5 x 12 - 4.8 - Z	Countersunk flat head screws (common head style) with type Z cross recess


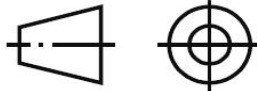
	Conjunto				Aluno Heitor Tiburcio
	Componente		Molde.iam		
	 	Escala 1:10	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan	

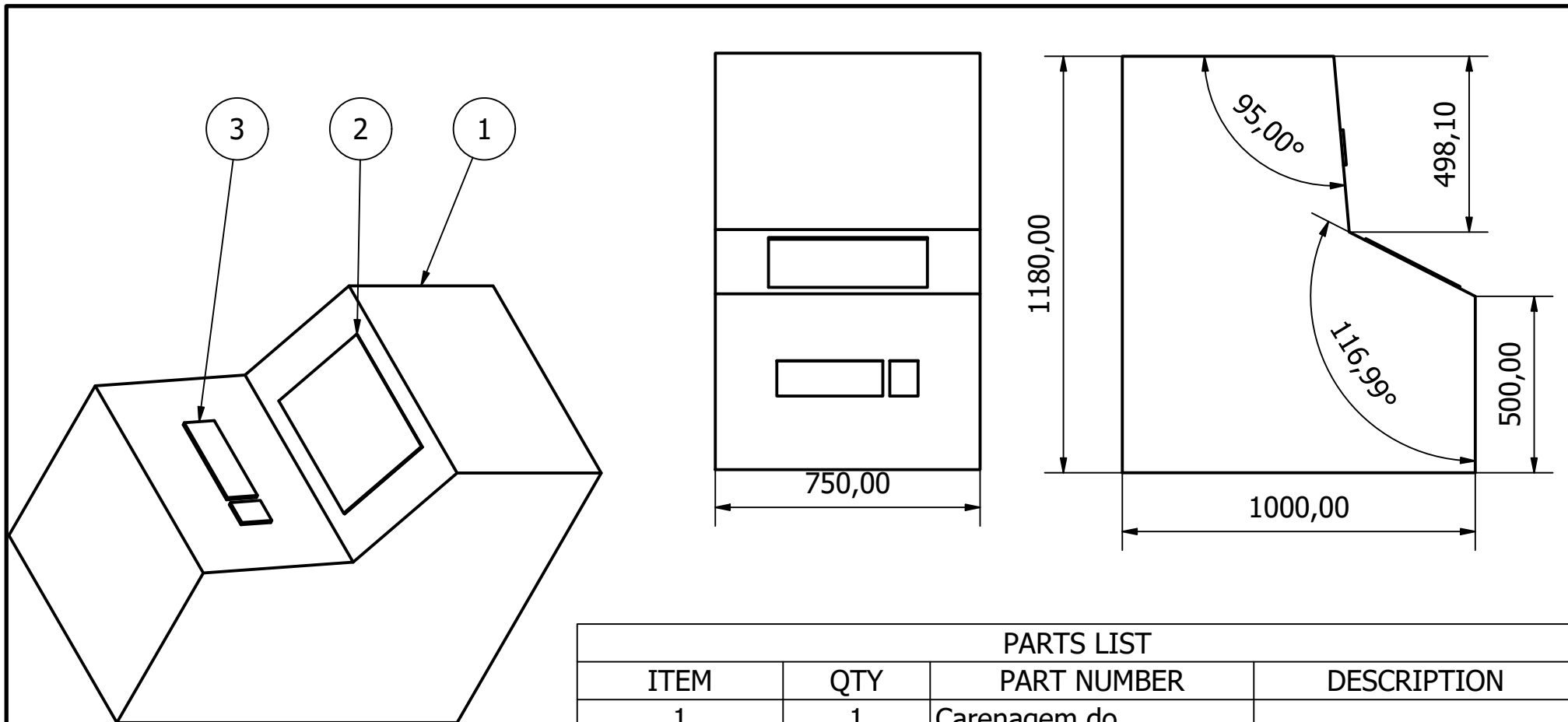


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	Cobertura Principal	
2	1	Cobertura móvel	
3	1	Proteção do forno.	




 EESC • USP	Conjunto		Aluno	
	Componente		Heitor Tiburcio	
	 	Escala 1 : 25	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan

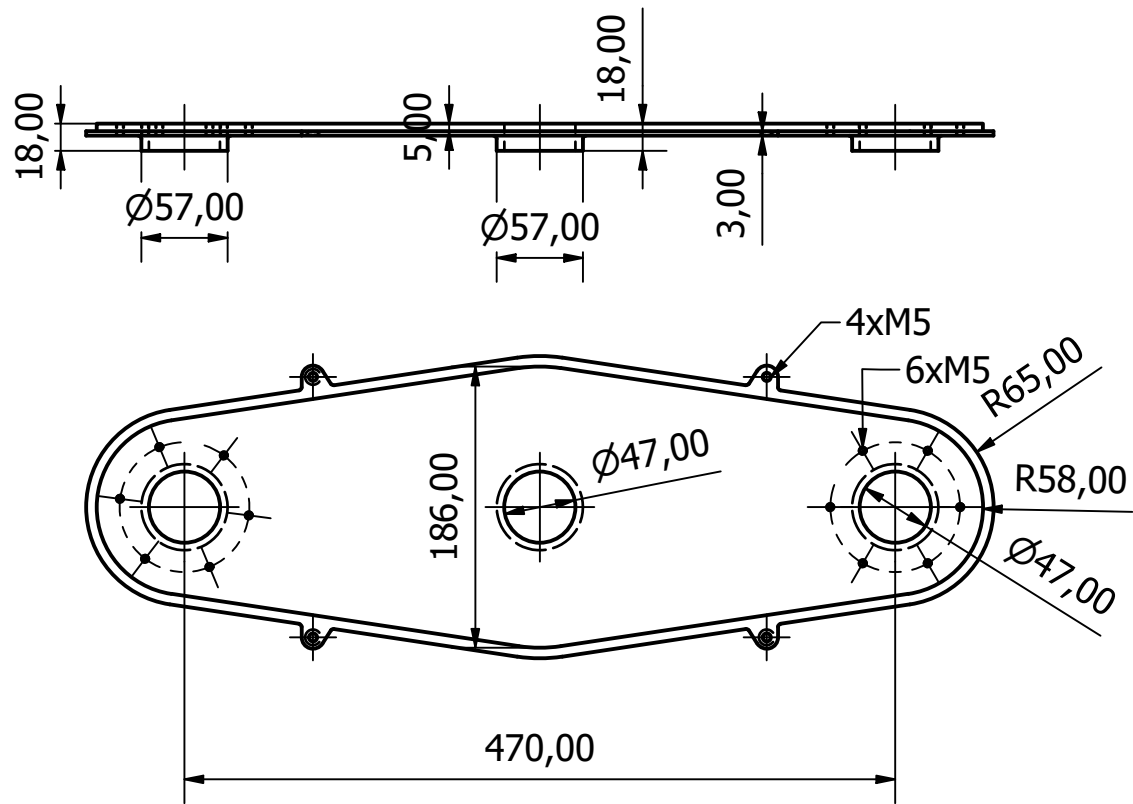



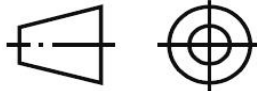
	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Aquecedor do forno.ipt		
		Escala 1:5	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan

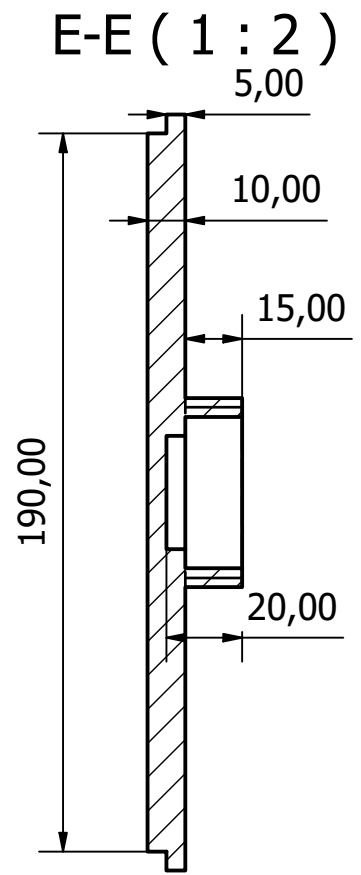
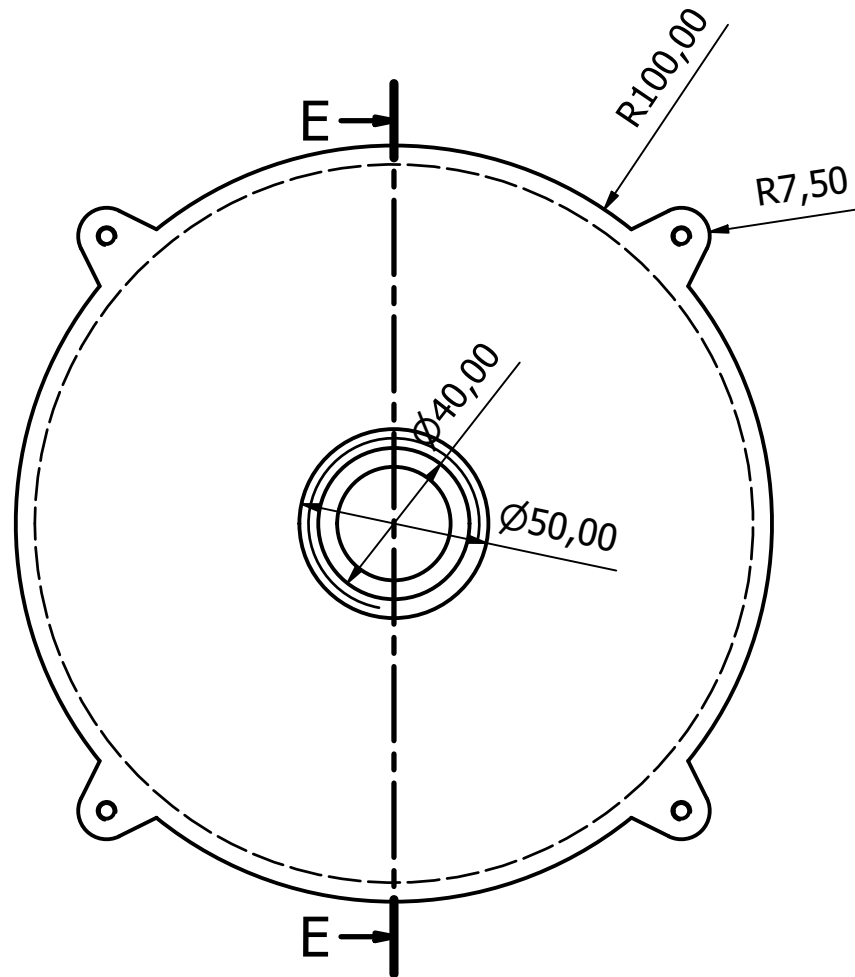





PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1		Carenagem do computador
2	1		Tela
3	1		Teclado
4	1		Computador

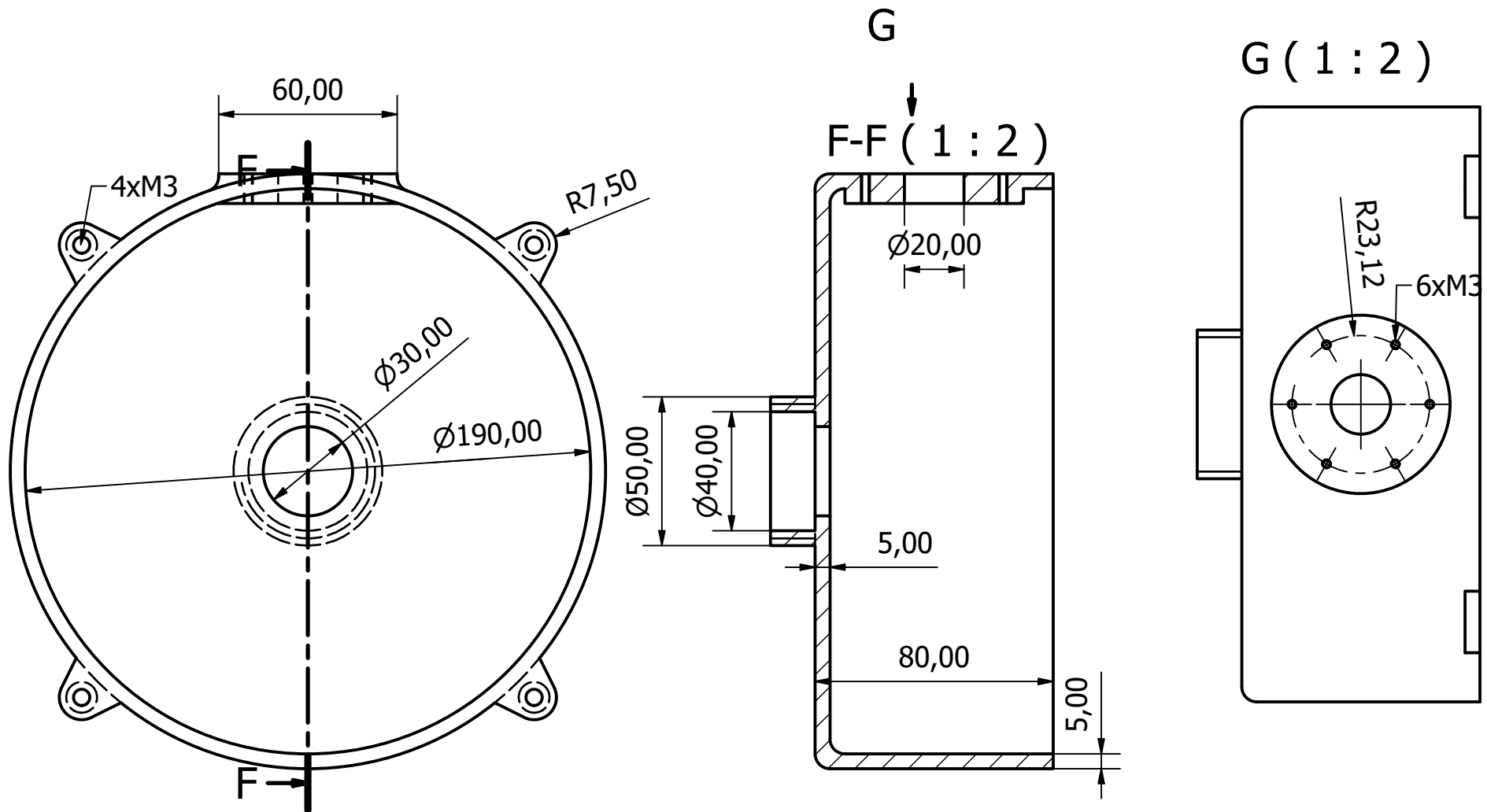
 EESC • USP	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Central de comando.iam		
	 	Escala 0,06 : 1	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan






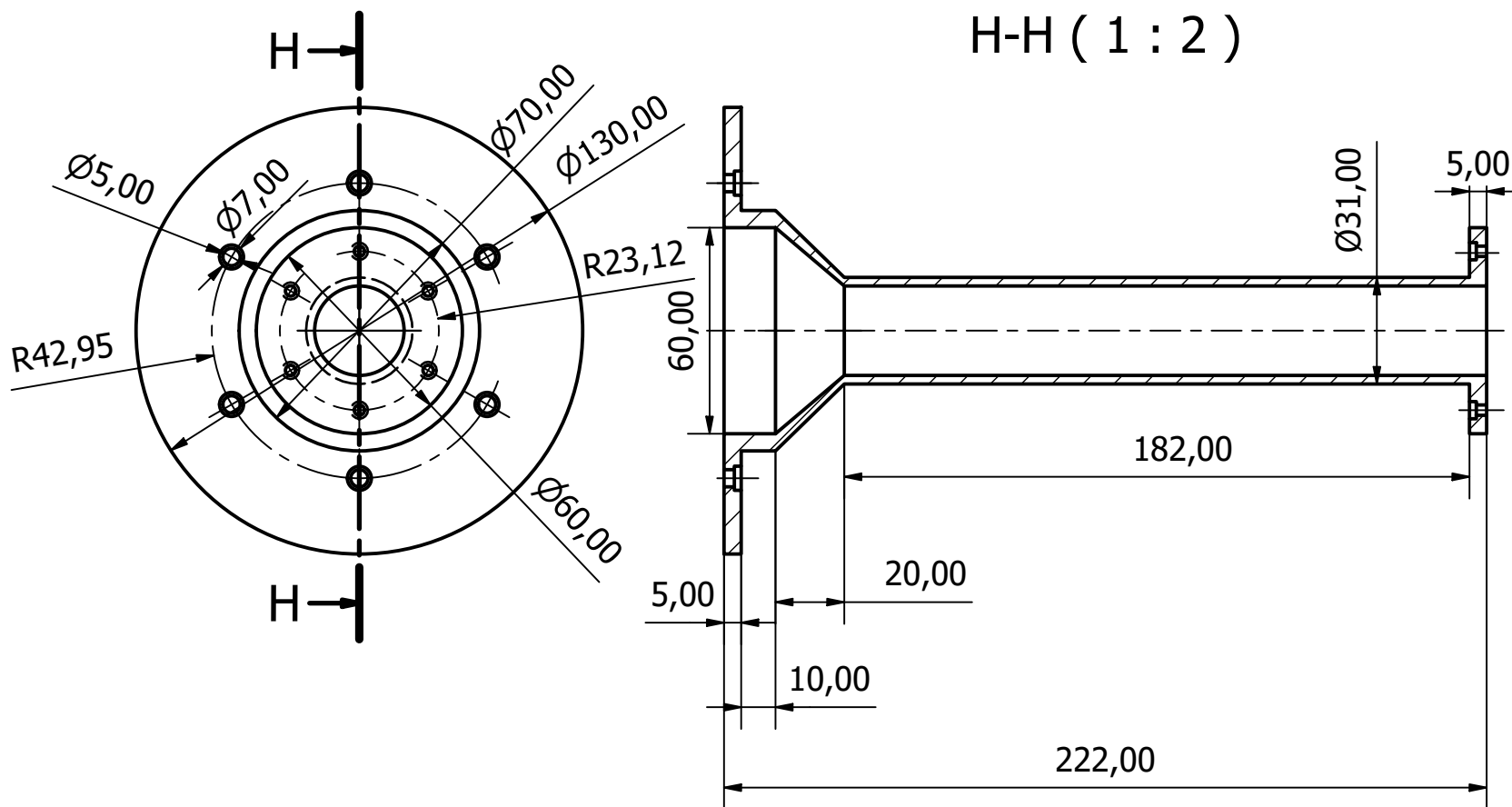
	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Tampa do suporte.ipt		
		Escala 1:5	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan


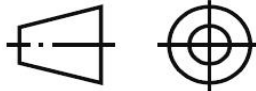


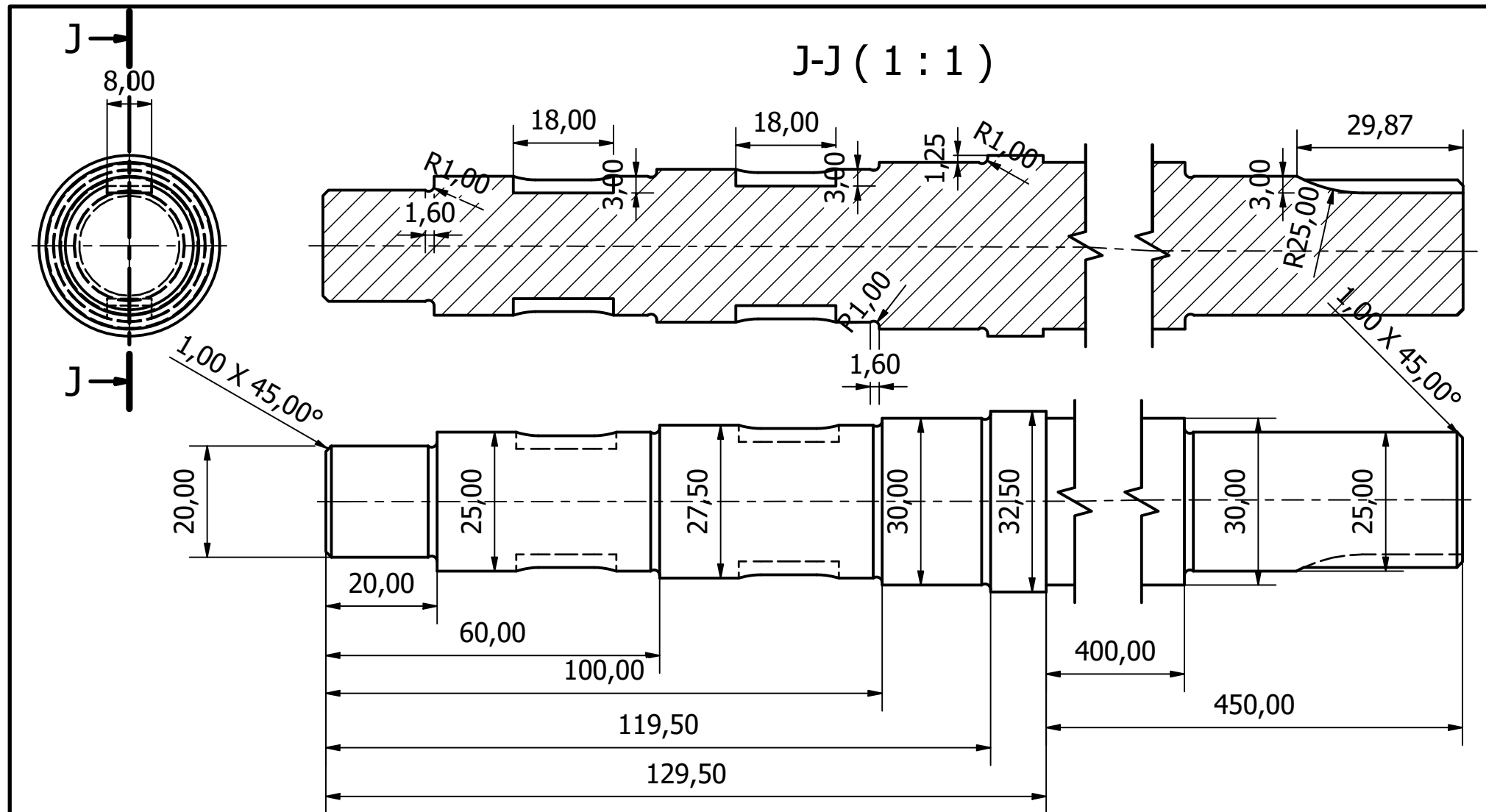
 EESC • USP	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Tampa do suporte molde.ipt		
	 	Escala 1 : 2	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan






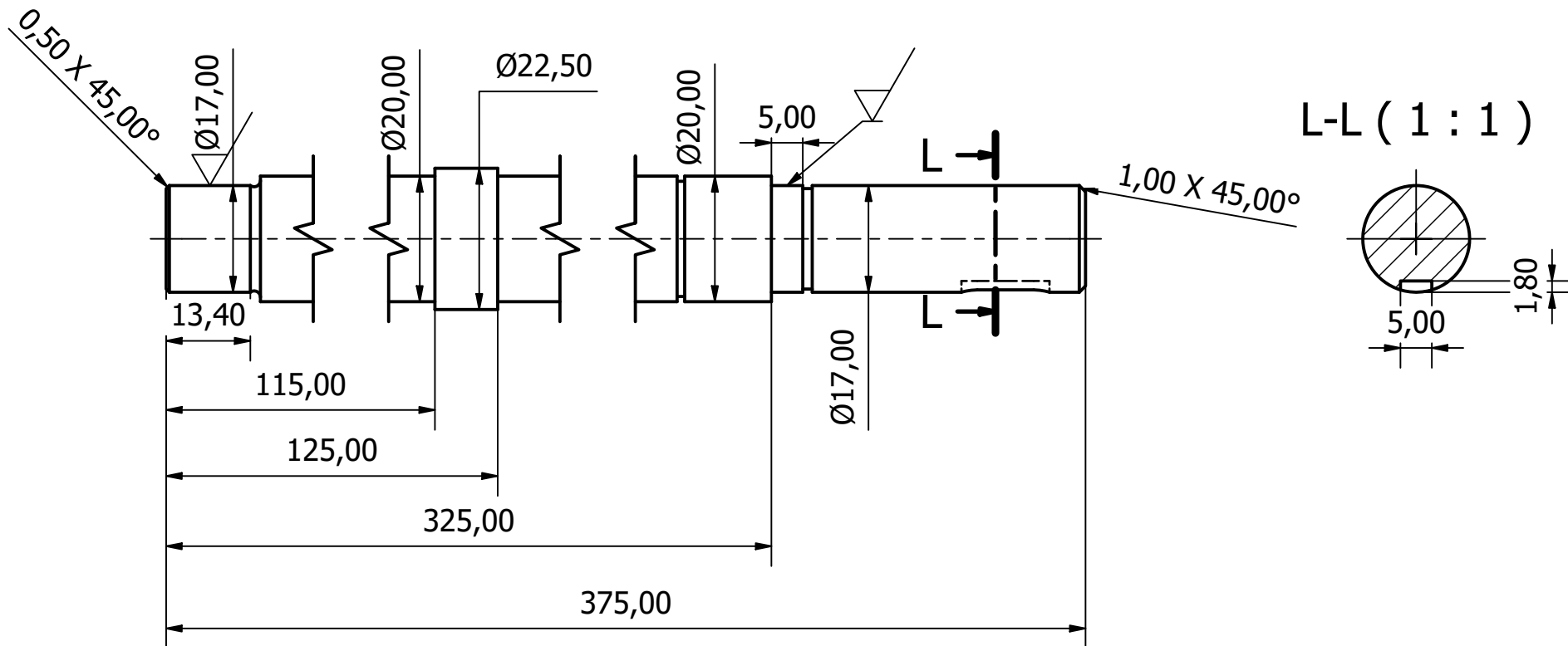
 EESC • USP	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Suporte do Molde.ipt		
	 	Escala 1 : 2	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan





	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Suporte secundário.ipt		
		Escala 1 : 2	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan



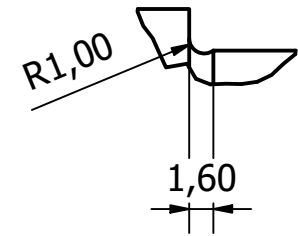
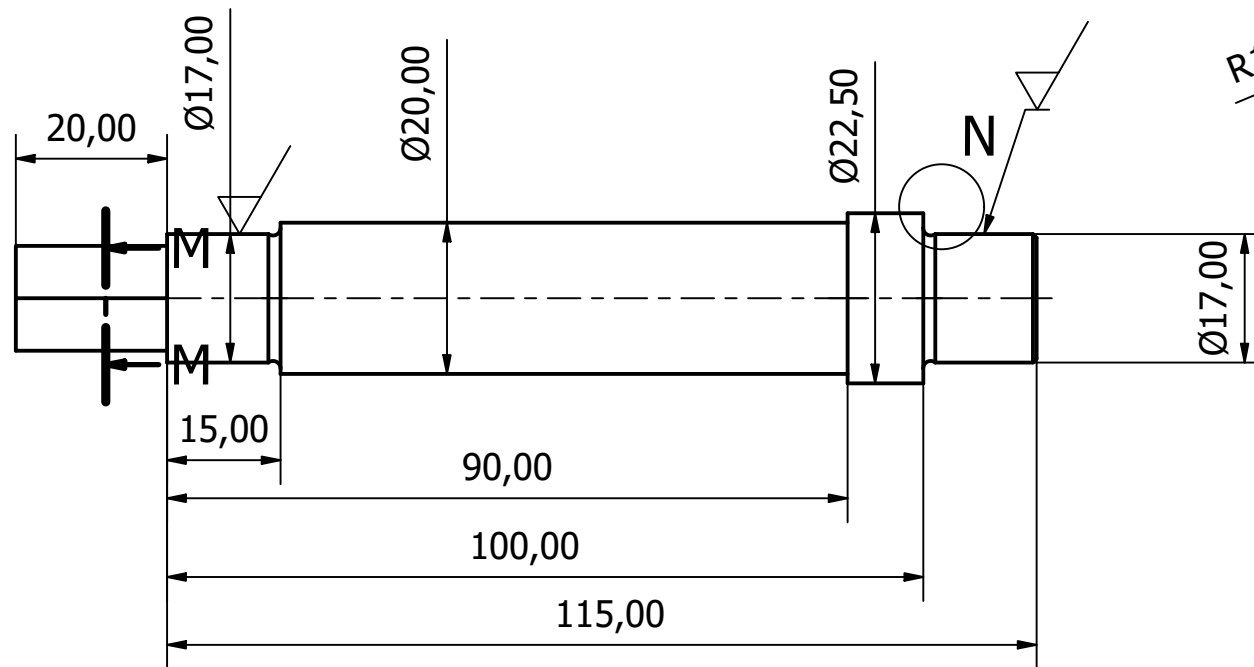
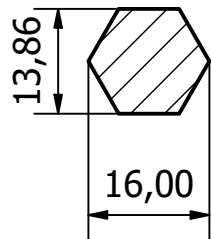
 EESC • USP	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Shaft1.ipt		
	 	Escala 1 : 1	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan






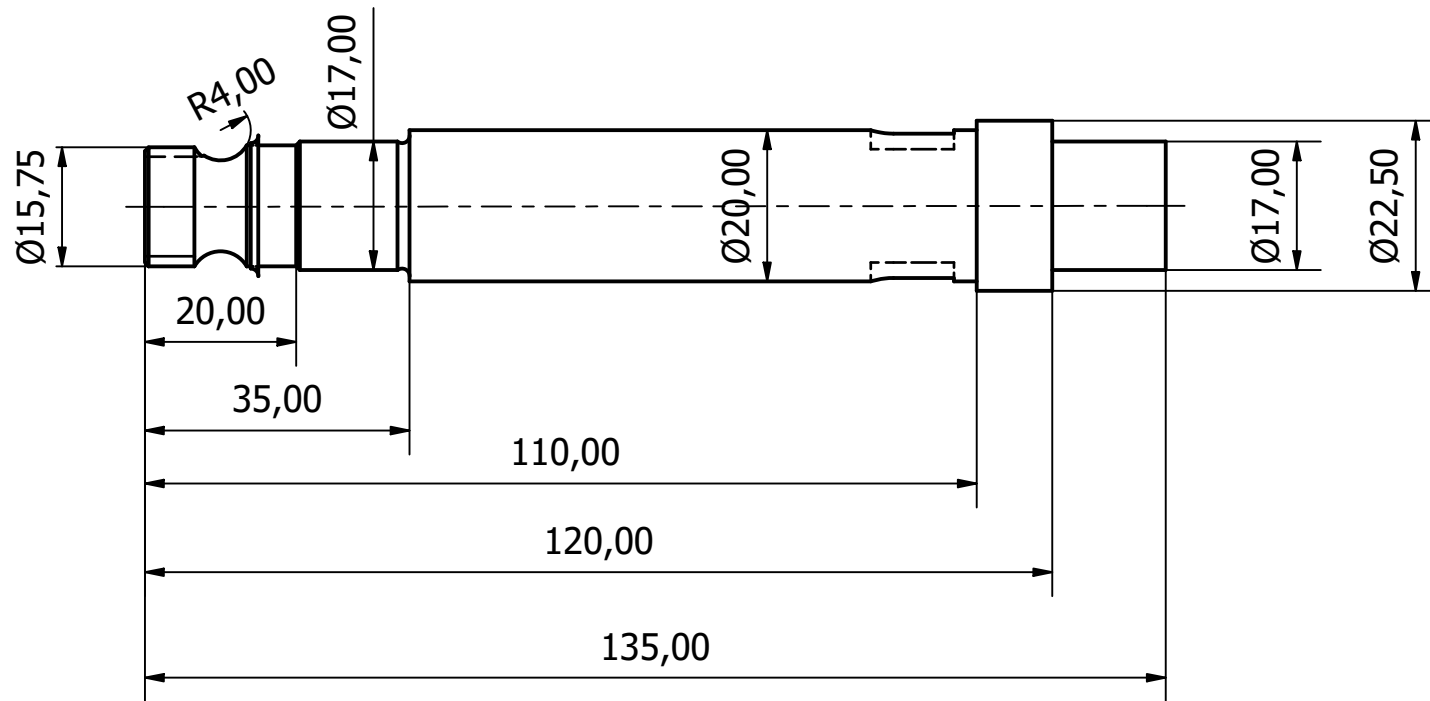
Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
Componente	Shaft2.ipt		
 	Escala 1 : 1	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan


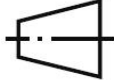

N (2 : 1)

M-M (1 : 1)



	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Shaft4.ipt		
	 	Escala 1 : 1	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan



 EESC • USP	Conjunto			Aluno Heitor Tiburcio
	Componente	Shaft3.ipt		
	 	Escala 1 : 1	Data 22/12/2020	Prof. Fortulan

5.2. Apêndice C – Pedido e Patente

Título

MINI MÁQUINA DE ROTOMOLDAGEM COM SISTEMA DE REDUÇÃO MONOMOTOR

Campo da invenção

Esta invenção trata de uma máquina de rotomoldagem com sistema de redução que permite o giro em dois eixos por meio de um único motor. Ela atua no campo da melhora de produtividade industrial por usar um único motor e assim diminuir os custos de operação de maquinário para rotomoldagem.

Resumo

O presente documento trata do desenvolvimento do projeto de máquina de rotomoldagem. Uma máquina de rotomoldagem é um equipamento que produz peças plásticas rotacionando um molde em dois eixos dentro de um forno com temperatura controlada. As máquinas presentes hoje no mercado possuem motores independentes para cada eixo. Este projeto tem como objetivo se diferenciar no mecanismo de atuação, utilizando dois redutores no eixo e um sistema de eixos internos e externos para conseguir o giro biaxial com o uso de um único motor. O principal componente é o braço mecânico que possui dois apoios para o molde que giram na mesma velocidade e direção, garantindo assim o primeiro eixo de direção do molde. Esses eixos são acionados por engrenagens cônicas, movidas por um eixo que, por sua vez é movido por duas correntes que é acionado por meio de uma outra corrente pelo motor principal. O outro eixo é o movimentado por uma redução de engrenagem e corrente que gira todo o conjunto citado anteriormente. Por meio de todo o desenvolvimento do projeto, desde os primeiros croquis até o projeto final computadorizado em 3D, pode-se entender melhor as etapas de projeto de máquinas, assim como entender a otimização dos componentes à medida que o projeto tomou forma, uma vez que o produto final obtido possui um grau de executabilidade muito maior do que o dos primeiros croquis.

Estado da arte

A revisão bibliográfica demonstra que não existe máquina patenteada que faça uso desse tipo de mecanismo. As máquinas existentes têm, em sua maioria, um motor para cada eixo.

Ao todo foram encontradas 03 patentes, indicadas na Tabela B a seguir.

Tabela B - Patentes encontradas

Número	Nome	Código
1	Sistema de posicionamento de moldes para rotomoldagem	WO2015/036877
2	Processo para obtenção de reservatório de água com tampa soldável	BR n. PI0704326-0 A2
3	Máquina de Rotomoldagem tipo forno	CN 104690867 A

A patente A mostra um mecanismo de braço que pode ser usado para rotacionar moldes grandes de forma a facilitar o processo produtivo, mas sem menção ao número de motores. A patente B mostra um processo de produção de forma de produto por meio de rotomoldagem, mas não indica nenhum aspecto da máquina que o produz. A patente C mostra uma geometria construtiva para a máquina de grande porte.

Objetivos

A máquina deve ser capaz de girar os dois eixos do molde em relações de giro condizentes com as aplicações da máquina. O sentido do giro não é um limitante. O objetivo é gerar um conceito tridimensional computadorizados do projeto proposto, informando dados técnicos de seleção de componentes, dimensionamentos e verificações.

Descrição

Sabe-se que o projeto deve conter um conjunto móvel onde estão o braço que segura o molde e é capaz de se movimentar independentemente da estrutura da máquina de forma a tirar o molde do forno para o resfriamento. Dessa forma, a máquina é dividida em oito subconjuntos: estrutura da base, forno, mecanismo das portas, carrinho de deslocamento, braço, redução, molde, carenagem e central de controle.

A estrutura da base é a estrutura que suporta o peso próprio de todos os demais conjuntos e é responsável por garantir a estabilidade da máquina durante o funcionamento. É feita de vigas de aço soldadas e nela são soldados os subsistemas fixos. É nela também que estão fixados os trilhos e fusos que movimentam o carrinho.

O carrinho é responsável por colocar e tirar o conjunto do braço e do molde de dentro do forno. Isso é feito apoiando-o no trilho e movimentando-o pelo fuso. Nele estão apoiados o motor e a redução necessária para girar o braço.

O subconjunto do braço é composto por uma estrutura de ferro fundido, com eixos e engrenagens internos que garante o giro do molde. Além disso, ele é apoiado no carrinho por meio de mancais de rolamento.

A redução é responsável por adaptar a rotação e torque do motor ao movimento desejado para a o braço. O sistema de redução será feito por meio de engrenagens e correntes, dimensionadas de acordo com as necessidades de torque e de acordo com a capacidade do motor.

O molde é fixado no braço por meio de conexões especiais.

A central de comando opera os aquecedores do forno

O mecanismo da porta opera as portas do forno, garantindo assim que ele seja fechado quando o molde está dentro dele.

Reivindicações

1. Máquina de rotomoldagem biaxial monomotor.
2. Mini máquina de rotomoldagem com sistema de redução para uso de um único motor
3. Máquina de rotomoldagem elétrica caracterizada por ser movimentada mecanicamente por motor único.
4. Máquina caracterizada pela sua carenagem branca e vermelha.
5. Máquina caracterizada por seu sistema de trilhos e carrinho que se movimenta por meio de fuso elétrica.

Figuras

As figuras a seguir ilustram os conjuntos que compõem a máquina, assim como sua montagem geral. Os desenhos incluem: Desenho geral, desenho do braço, do carrinho e da redução.

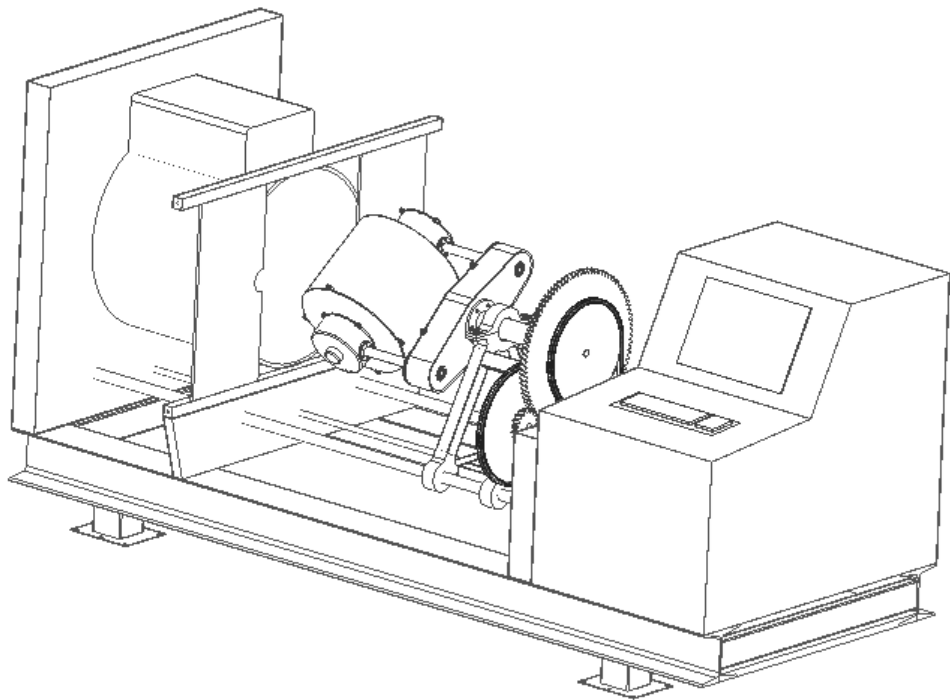


Figure 1-Imagem geral

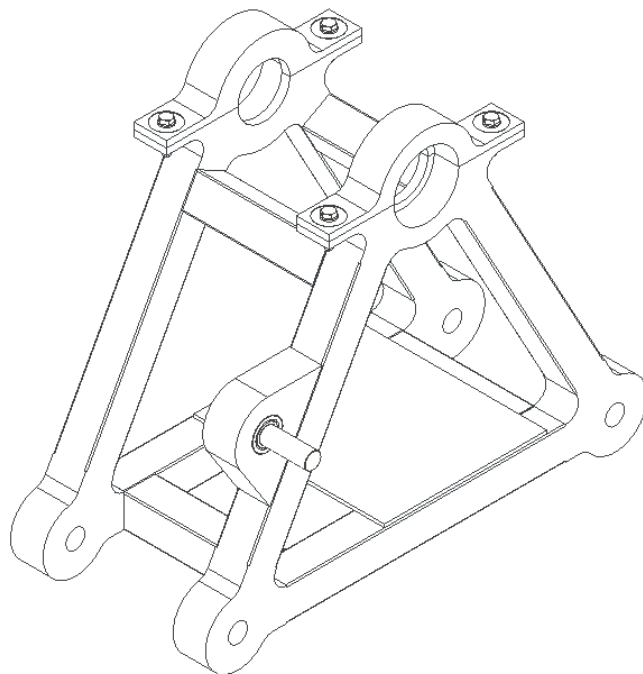


Figure 2-Carrinho

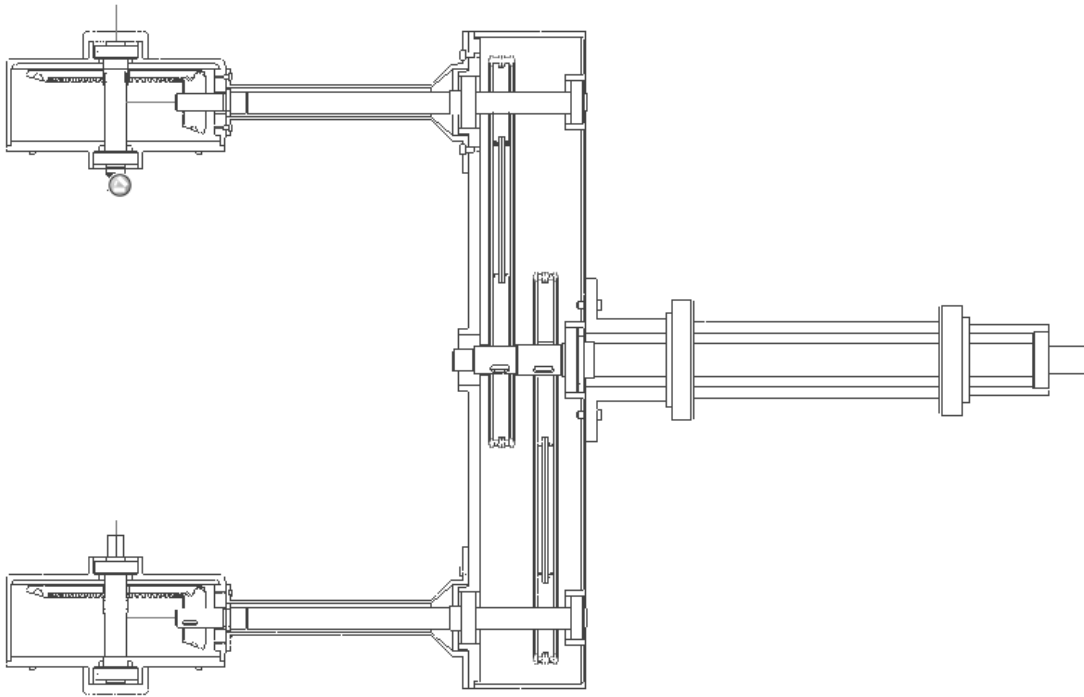


Figure 3-Braço em corte

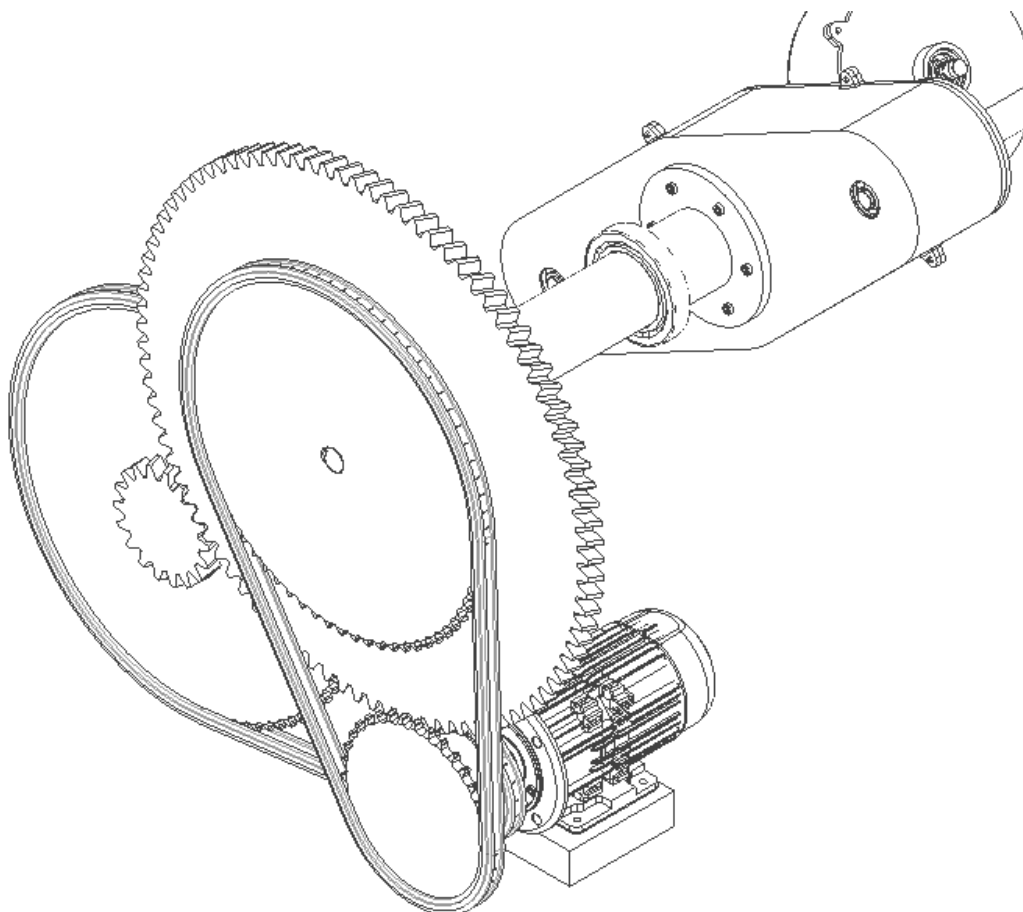


Figure 4-Redução, mostrando também o motor e o braço

Referências

YIBO, Yuan. **Electromagnetic heating oven.** Depositante: Polymer Rotomolding Company Ltd. CN207783188U. Depósito: 14 dez. de 2017. Publicação: 28 ago. de 2018

TORRES, Antônio Carlos. **Processo para obtenção de reservatório de água com tampa soldável.** Titular: Antônio Carlos Torres. BR n. PI0704326-0 A2. Depósito: 17 out. 2007. Publicação: 23 jun. 2007.

TORRES, Antônio Carlos. **Sistema de posicionamento de moldes para rotomoldagem.** Titular: Antônio Carlos Torres. Depositante: Vilage Marcas e Patentes LTDA. WO2015/036877 A1. Depósito: 29 jul. de 2014. Publicação: 19 mar. de 2015.

São Carlos-SP, dezembro de 2020.

Professor: Carlos A. Fortulan

Heitor Tiburcio

5. ANEXOS

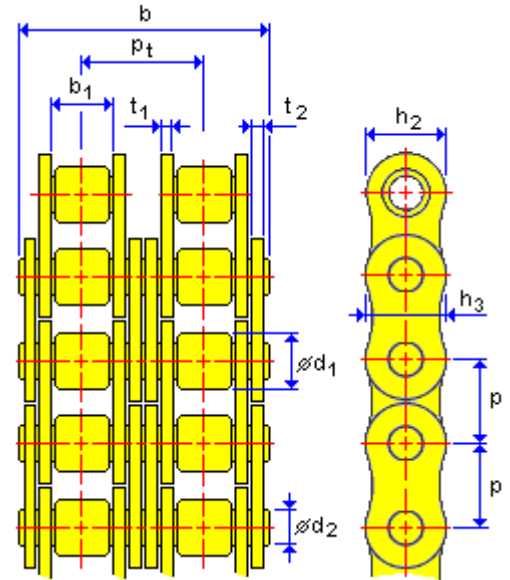
Roller Chains Generator (Version: 2020 (Build 240168000, 168))

22/12/2020

Project Info

Chain properties

Chain : ISO 606:2004 - Short-pitch transmission precision roller chains (EU)		
Chain size designation	10B-1-98	
Pitch	p	15,875 mm
Number of Chain Links	X	98,000 ul
Number of Chain Strands	k	1,000 ul
Minimum width between inner plates	b ₁	9,650 mm
Maximum Roller Diameter	d ₁	10,160 mm
Maximum pin body diameter	d ₂	5,080 mm
Maximum inner plate depth	h ₂	14,730 mm
Maximum outer or intermediate plate depth	h ₃	13,720 mm
Maximum width over bearing pins	b	19,600 mm
Maximum inner plate width	t ₁	1,500 mm
Maximum outer or intermediate plate width	t ₂	1,500 mm
Chain bearing area	A	67,000 mm ²
Tensile Strength	F _u	22200,000 N
Specific Chain Mass	m	0,900 kg/m
Chain construction factor	φ	1,000 ul



Sprocket 1 properties: Toothed sprocket

Sprocket 2 properties: Toothed sprocket

Sprocket 3 properties: Flat idler

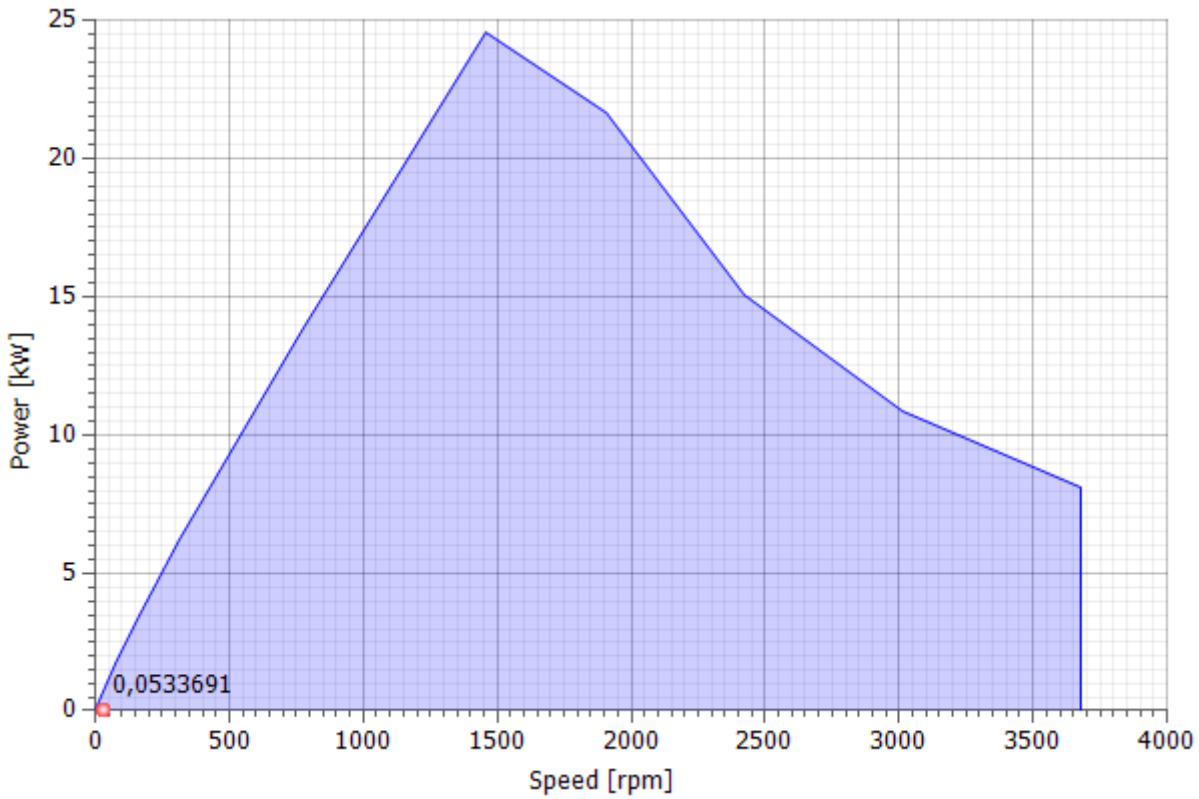
Working conditions

Power	P	0,045 kW
Torque	T	14,242 N m
Speed	n	30,000 rpm
Efficiency	η	0,920 ul
Required service life	L _h	15000,000 hr
Maximum chain elongation	ΔL _{max}	0,030 ul
Application	Smooth running	
Environment	Clean	
Lubrication	Recommended (see notes below)	

Power correction factors

Shock factor	Y	1,000 ul
Service factor	f ₁	1,000 ul
Sprocket size factor	f ₂	1,000 ul
Strands factor	f ₃	1,000 ul
Lubrication factor	f ₄	1,000 ul
Center distance factor	f ₅	1,084 ul
Ratio factor	f ₆	1,100 ul
Service life factor	f ₇	1,000 ul

Chain power rating



Results

Chain Speed	v	0,556 mps
Effective pull	F_p	80,498 N
Centrifugal force	F_C	0,278 N
Maximum tension in chain span	F_{Tmax}	80,777 N
Static safety factor	$S_S > S_{Smin}$	274,832 ul > 7,000 ul
Dynamic safety factor	$S_D > S_{Dmin}$	274,832 ul > 5,000 ul
Bearing pressure	$p_B < p_0 * \lambda$	1,206 MPa
Permissible bearing pressure	p_0	29,895 MPa
Specific friction factor	λ	0,838 ul
Design power	$P_D < P_R$	0,053 kW
Chain power rating	P_R	1,388 kW
Chain service life for specified elongation	$t_h > L_h$	1428541 hr
Chain link plates service life	$t_{hL} > L_h$	2777778 hr
Roller and bushing service life	$t_{hr} > L_h$	2777778 hr

Summary of Messages

16:02:43 Calculation: Recommended lubrication : Manual lubrication
 16:02:43 Calculation: Maximum chain power rating is limited by link plate fatigue.
 16:02:43 Calculation: Calculation indicates design compliance!

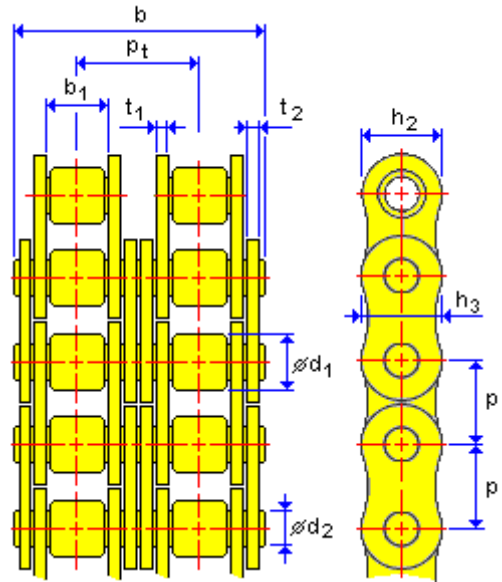
Roller Chains Generator (Version: 2020 (Build 240168000, 168))

22/12/2020

Project Info

Chain properties

Chain : ASME B29.1M - Precision power transmission bush chains		
Chain size designation		35-2-88
Pitch	p	9,525 mm
Number of Chain Links	X	88,000 ul
Number of Chain Strands	k	2,000 ul
Minimum width between inner plates	b ₁	4,775 mm
Maximum Roller Diameter	d ₁	5,080 mm
Maximum pin body diameter	d ₂	3,581 mm
Maximum inner plate depth	h ₂	8,992 mm
Maximum outer or intermediate plate depth	h ₃	7,798 mm
Maximum width over bearing pins	b	22,860 mm
Maximum inner plate width	t ₁	1,270 mm
Maximum outer or intermediate plate width	t ₂	1,270 mm
Transverse pitch	p _t	10,135 mm
Chain bearing area	A	52,903 mm ²
Tensile Strength	F _u	13309,079 N
Specific Chain Mass	m	2,083 kg/m
Chain construction factor	φ	1,000 ul



Sprocket 1 properties: Toothed sprocket

Sprocket 2 properties: Toothed sprocket

Sprocket 3 properties: Flat idler

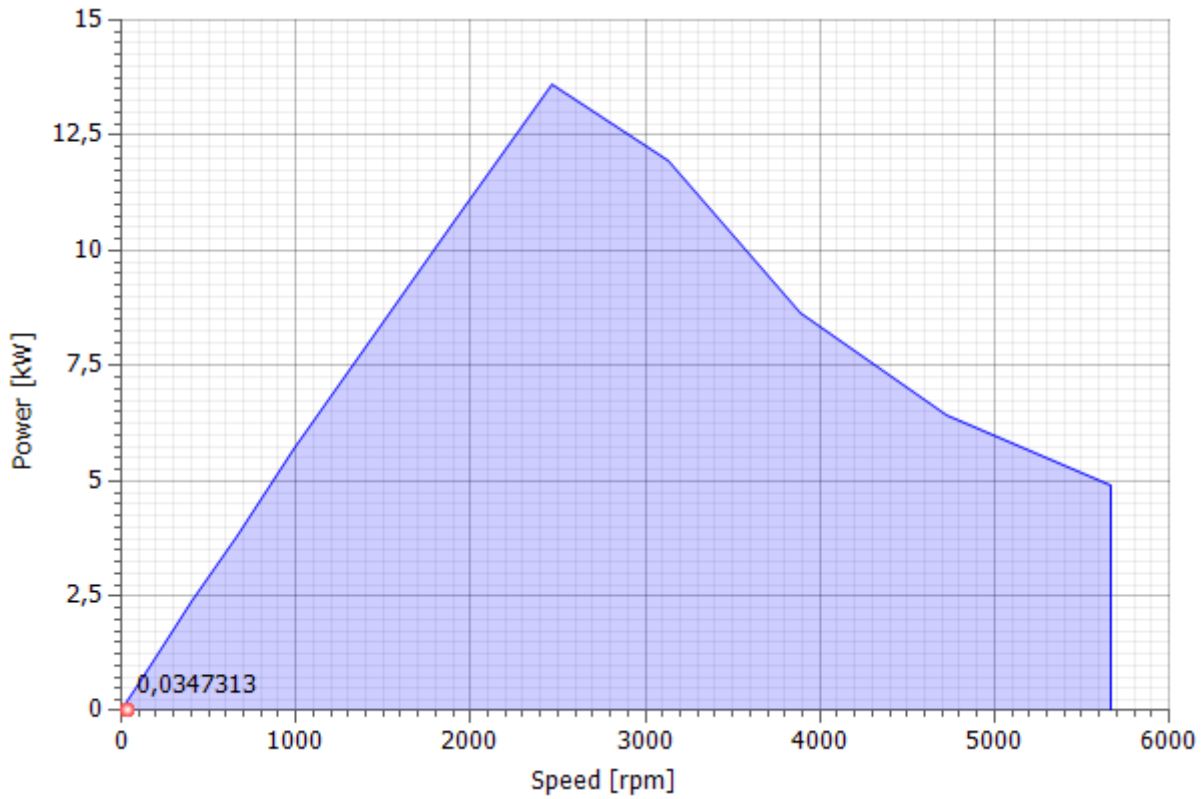
Working conditions

Power	P	0,030 kW
Torque	T	9,549 N m
Speed	n	30,000 rpm
Efficiency	η	0,940 ul
Required service life	L _h	15000,000 hr
Maximum chain elongation	ΔL _{max}	0,030 ul
Application	Smooth running	
Environment	Clean	
Lubrication	Recommended (see notes below)	

Power correction factors

Shock factor	Y	1,000 ul
Service factor	f ₁	1,000 ul
Sprocket size factor	f ₂	1,000 ul
Strands factor	f ₃	1,700 ul
Lubrication factor	f ₄	1,000 ul
Center distance factor	f ₅	1,052 ul
Ratio factor	f ₆	1,100 ul
Service life factor	f ₇	1,000 ul

Chain power rating



Results

Chain Speed	v	0,238 mps
Effective pull	F_p	125,901 N
Centrifugal force	F_C	0,118 N
Maximum tension in chain span	F_{Tmax}	126,020 N
Static safety factor	$S_S > S_{Smin}$	105,611 ul > 7,000 ul
Dynamic safety factor	$S_D > S_{Dmin}$	105,611 ul > 5,000 ul
Bearing pressure	$p_B < p_0 * \lambda$	2,382 MPa
Permissible bearing pressure	p_0	31,626 MPa
Specific friction factor	λ	0,864 ul
Design power	$P_D < P_R$	0,035 kW
Chain power rating	P_R	0,384 kW
Chain service life for specified elongation	$t_h > L_h$	1744746 hr
Chain link plates service life	$t_{hL} > L_h$	2777778 hr
Roller and bushing service life	$t_{hr} > L_h$	2777778 hr

Summary of Messages

16:44:22 Calculation: Recommended lubrication : Manual lubrication
 16:44:22 Calculation: Maximum chain power rating is limited by link plate fatigue.
 16:44:22 Calculation: Calculation indicates design compliance!

Bevel Gears Component Generator (Version: 2020 (Build 240168000, 168))

22/12/2020

Project Info

Guide

Unit Corrections Guide - According to DIN

Type of Load Calculation - Torque calculation for the specified power and speed

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Method of Strength Calculation - ISO 6336:1996

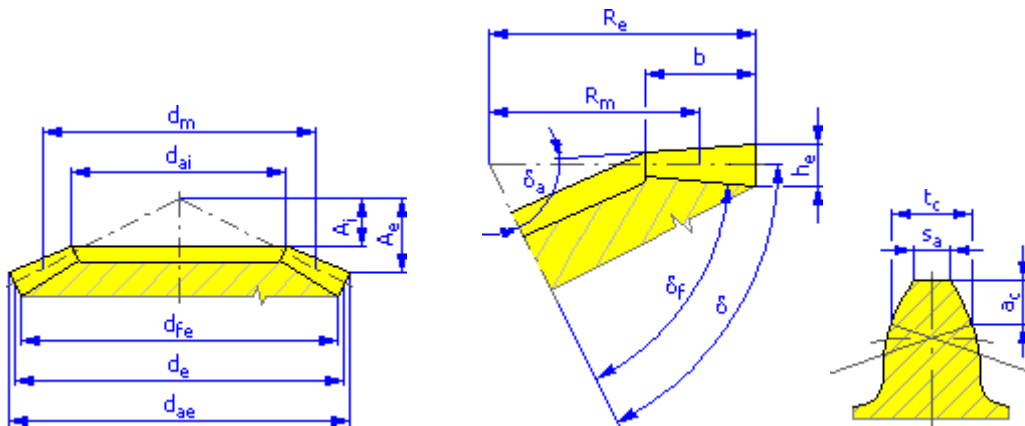
Common Parameters

Gear Ratio	i	2,8000 ul
Tangential Module	m_{et}	2,500 mm
Helix Angle	β	25,00 deg
Tangential Pressure Angle	α_t	20,0000 deg
Shaft Angle	Σ	90,00 deg
Normal Pressure Angle at End	α_{ne}	18,6607 deg
Normal Pressure Angle in Middle Plane	α_{nm}	18,2561 deg
Base Helix Angle	β_b	23,6624 deg
Helix Angle at End	β_e	21,8948 deg
Module	m	2,320 mm
Contact Ratio	ϵ	2,9902 ul
Transverse Contact Ratio	ϵ_α	1,8463 ul
Overlap Ratio	ϵ_β	1,1439 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_x	0,0110 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_y	0,0055 mm
Virtual Gear Ratio	i_v	7,743 ul
Equivalent Center Distance	a_v	235,678 mm
Virtual Center Distance	a_n	286,924 mm
Pitch Cone Radius	R_e	85,009 mm
Pitch Cone Radius in Middle Plane	R_m	75,009 mm

Gears

		Gear 1	Gear 2
Type of model		Component	Component
Number of Teeth	z	23,000 ul	64 ul
Unit Correction	x	-1,0000 ul	1,0000 ul
Tangential Displacement	x_t	0,0000 ul	-0,0000 ul
Pitch Diameter at End	d_e	57,500 mm	160,000 mm
Pitch Diameter in Middle Plane	d_m	50,736 mm	141,179 mm
Outside Diameter at End	d_{ae}	57,500 mm	163,382 mm
Outside Diameter at Small End	d_{ai}	43,972 mm	124,943 mm
Root Diameter at End	d_{fe}	47,148 mm	159,662 mm
Vertex Distance	A_e	80,000 mm	24,045 mm
Vertex Distance at Small End	A_i	61,179 mm	18,388 mm
Pitch Cone Angle	δ	19,7672 deg	70,2328 deg
Outside Cone Angle	δ_a	19,7672 deg	73,5989 deg
Root Cone Angle	δ_f	16,0654 deg	69,8958 deg

Facewidth	b	20,000 mm	
Facewidth Ratio	b_r	0,2353 ul	
Addendum	a^*	1,0000 ul	1,0000 ul
Clearance	c^*	0,2000 ul	0,2000 ul
Root Fillet	r_f^*	0,3000 ul	0,3000 ul
Whole Depth of Tooth	h_e	5,500 mm	5,500 mm
Tooth Thickness at End	s_e	2,107 mm	5,747 mm
Chordal Thickness	t_c	1,861 mm	5,075 mm
Chordal Addendum	a_c	-0,339 mm	4,077 mm
Limit Deviation of Helix Angle	F_β	0,0110 mm	0,0110 mm
Limit Circumferential Run-out	F_r	0,0210 mm	0,0280 mm
Limit Deviation of Axial Pitch	f_{pt}	0,0075 mm	0,0085 mm
Limit Deviation of Basic Pitch	f_{pb}	0,0070 mm	0,0080 mm
Equivalent Number of Teeth	z_v	24,440 ul	189,238 ul
Equivalent Pitch Diameter	d_v	53,913 mm	417,442 mm
Equivalent Outside Diameter	d_{va}	53,913 mm	426,266 mm
Equivalent Base Circle Diameter	d_{vb}	50,662 mm	392,268 mm
Virtual Number of Teeth	z_n	32,830 ul	254,203 ul
Virtual Pitch Diameter	d_n	65,636 mm	508,212 mm
Virtual Outside Diameter	d_{an}	65,636 mm	517,036 mm
Virtual Base Circle Diameter	d_{bn}	61,677 mm	477,563 mm
Unit Correction without Tapering	x_z	0,3605 ul	-4,2334 ul
Unit Correction without Undercut	x_p	-0,6083 ul	-11,4705 ul
Unit Correction Allowed Undercut	x_d	-0,7754 ul	-11,6376 ul
Addendum Truncation	k	0,0000 ul	0,0000 ul
Unit Outside Tooth Thickness	s_a	0,9084 ul	0,8082 ul



Loads

		Gear 1	Gear 2
Power	P	0,015 kW	0,013 kW
Speed	n	24,00 rpm	8,63 rpm
Torque	T	5,968 N m	14,116 N m
Efficiency	η	0,850 ul	
Tangential Force	F_t	235,269 N	
Normal Force	F_n	273,350 N	
Radial Force (direction 1)	F_{r1}	43,482 N	132,204 N
Radial Force (direction 2)	F_{r2}	117,688 N	-74,283 N
Axial Force (direction 1)	F_{a1}	132,204 N	43,482 N
Axial Force (direction 2)	F_{a2}	-74,283 N	117,688 N
Circumferential Speed	v	0,064 mps	
Resonance Speed	n_{E1}	22237,402 rpm	

Material

		Gear 1	Gear 2
		User material	User material
Ultimate Tensile Strength	S_u	700 MPa	700 MPa
Yield Strength	S_y	340 MPa	340 MPa
Modulus of Elasticity	E	206000 MPa	206000 MPa
Poisson's Ratio	μ	0,300 ul	0,300 ul
Bending Fatigue Limit	σ_{Flim}	352,0 MPa	352,0 MPa
Contact Fatigue Limit	σ_{Hlim}	1140,0 MPa	1140,0 MPa
Hardness in Tooth Core	JHV	210 ul	210 ul
Hardness in Tooth Side	VHV	600 ul	600 ul
Base Number of Load Cycles in Bending	N_{Flim}	3000000 ul	3000000 ul
Base Number of Load Cycles in Contact	N_{Hlim}	100000000 ul	100000000 ul
Wöhler Curve Exponent for Bending	q_F	6,0 ul	6,0 ul
Wöhler Curve Exponent for Contact	q_H	10,0 ul	10,0 ul
Type of Treatment	type	2 ul	2 ul

Strength Calculation

Factors of Additional Load

Application Factor	K_A	1,200 ul	
Dynamic Factor	K_{Hv}	1,002 ul	1,002 ul
Face Load Factor	$K_{H\beta}$	2,508 ul	2,099 ul
Transverse Load Factor	K_{Ha}	1,942 ul	1,942 ul
One-time Overloading Factor	K_{AS}	1,000 ul	

Factors for Contact

Elasticity Factor	Z_E	189,812 ul	
Zone Factor	Z_H	2,387 ul	
Contact Ratio Factor	Z_ϵ	0,674 ul	
Bevel Gear Factor	Z_k	0,850 ul	
Single Pair Tooth Contact Factor	Z_B	1,000 ul	1,000 ul
Life Factor	Z_N	1,214 ul	1,345 ul
Lubricant Factor	Z_L	0,962 ul	
Roughness Factor	Z_R	1,000 ul	
Speed Factor	Z_v	0,924 ul	
Helix Angle Factor	Z_β	0,952 ul	
Size Factor	Z_X	1,000 ul	1,000 ul

Factors for Bending

Form Factor	Y_{Fa}	7,163 ul	3,727 ul
Stress Correction Factor	Y_{Sa}	1,198 ul	1,734 ul
Teeth with Grinding Notches Factor	Y_{Sag}	1,000 ul	1,000 ul
Helix Angle Factor	Y_β	0,792 ul	
Contact Ratio Factor	Y_ϵ	0,625 ul	
Bevel Gear Factor	Y_k	1,000 ul	
Alternating Load Factor	Y_A	1,000 ul	1,000 ul
Production Technology Factor	Y_T	1,000 ul	1,000 ul
Life Factor	Y_N	1,000 ul	1,000 ul
Notch Sensitivity Factor		1,156 ul	1,290 ul

	Y_{δ}		
Size Factor	Y_X	1,000 ul	1,000 ul
Tooth Root Surface Factor	Y_R	1,000 ul	

Results

Factor of Safety from Pitting	S_H	4,017 ul	4,450 ul
Factor of Safety from Tooth Breakage	S_F	3,324 ul	4,923 ul
Static Safety in Contact	S_{Hst}	3,110 ul	3,110 ul
Static Safety in Bending	S_{Fst}	7,188 ul	9,544 ul
Check Calculation		Positive	

Summary of Messages

16:42:35 Design: Gear 1: The Unit Correction (x) is less than the Unit Correction Allowed Undercut (x_d)

16:42:35 Design: Calculation indicates design compliance!

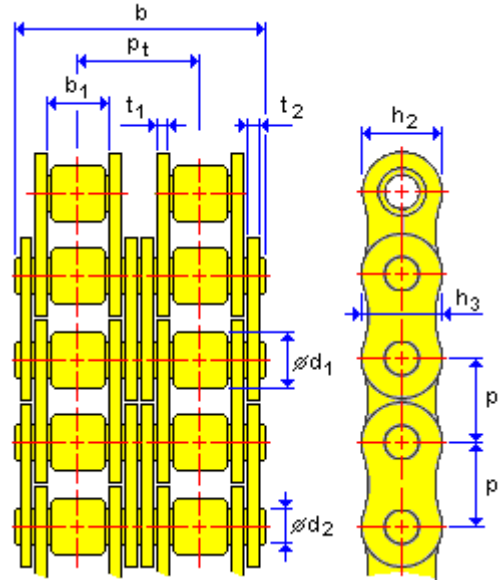
Roller Chains Generator (Version: 2020 (Build 240168000, 168))

22/12/2020

Project Info

Chain properties

Chain : ASME B29.1M - Precision power transmission roller chains		
Chain size designation		50-1-104
Pitch	p	15,875 mm
Number of Chain Links	X	104,000 ul
Number of Chain Strands	k	1,000 ul
Minimum width between inner plates	b ₁	9,525 mm
Maximum Roller Diameter	d ₁	10,160 mm
Maximum pin body diameter	d ₂	5,080 mm
Maximum inner plate depth	h ₂	15,011 mm
Maximum outer or intermediate plate depth	h ₃	13,005 mm
Maximum width over bearing pins	b	21,082 mm
Maximum inner plate width	t ₁	2,032 mm
Maximum outer or intermediate plate width	t ₂	2,032 mm
Chain bearing area	A	69,032 mm ²
Tensile Strength	F _u	21707,321 N
Specific Chain Mass	m	3,110 kg/m
Chain construction factor	φ	1,000 ul



Sprocket 1 properties: Toothed sprocket

Sprocket 2 properties: Toothed sprocket

Sprocket 3 properties: Toothed sprocket

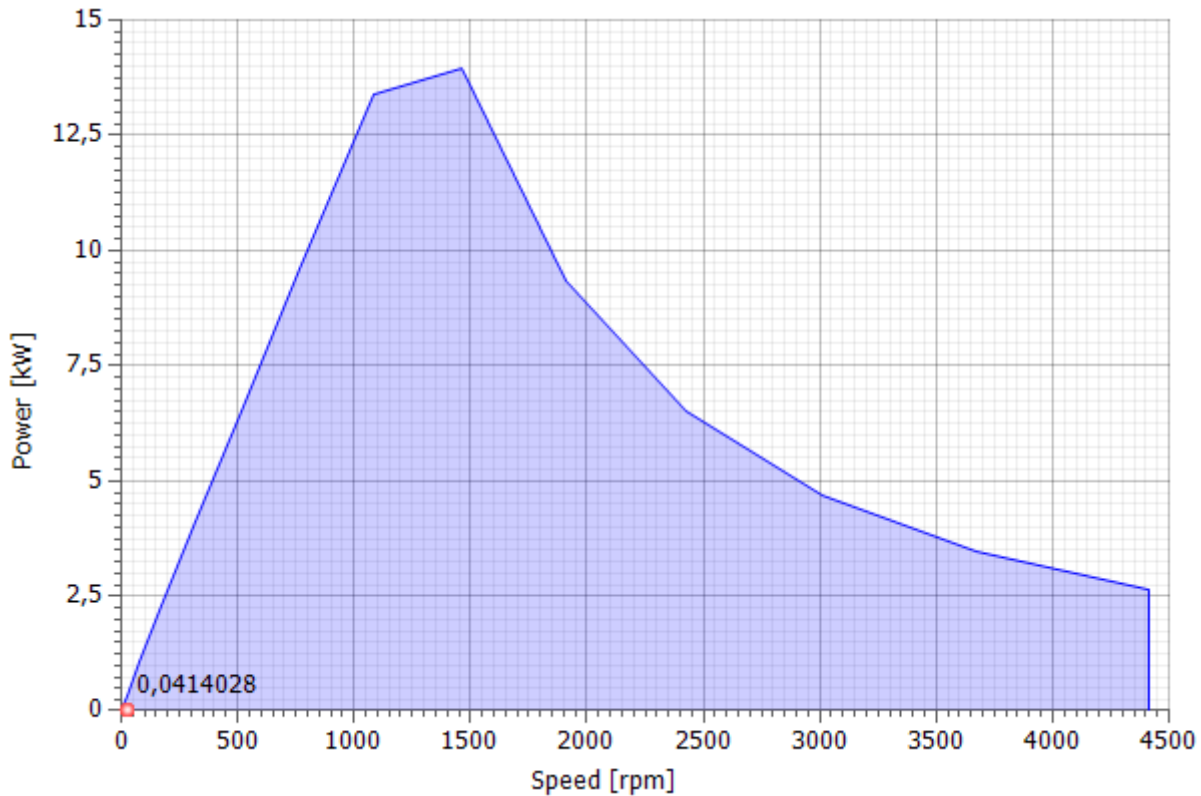
Working conditions

Power	P	0,045 kW
Torque	T	14,242 N m
Speed	n	30,000 rpm
Efficiency	η	0,980 ul
Required service life	L _h	15000,000 hr
Maximum chain elongation	ΔL_{max}	0,030 ul
Application	Smooth running	
Environment	Clean	
Lubrication	Recommended (see notes below)	

Power correction factors

Shock factor	Y	1,000 ul
Service factor	f ₁	1,000 ul
Sprocket size factor	f ₂	1,000 ul
Strands factor	f ₃	1,000 ul
Lubrication factor	f ₄	1,000 ul
Center distance factor	f ₅	0,984 ul
Ratio factor	f ₆	0,940 ul
Service life factor	f ₇	1,000 ul

Chain power rating



Results

Chain Speed	v	0,635 mps
Effective pull	F_p	70,442 N
Centrifugal force	F_C	1,255 N
Maximum tension in chain span	F_{Tmax}	71,697 N
Static safety factor	$S_S > S_{Smin}$	302,767 ul > 7,000 ul
Dynamic safety factor	$S_D > S_{Dmin}$	302,767 ul > 5,000 ul
Bearing pressure	$p_B < p_0 * \lambda$	1,039 MPa
Permissible bearing pressure	p_0	28,160 MPa
Specific friction factor	λ	1,081 ul
Design power	$P_D < P_R$	0,041 kW
Chain power rating	P_R	1,620 kW
Chain service life for specified elongation	$t_h > L_h$	1200264 hr
Chain link plates service life	$t_{hL} > L_h$	2777778 hr
Roller and bushing service life	$t_{hr} > L_h$	2777778 hr

Summary of Messages

16:03:31 Calculation: Recommended lubrication : Drip feeded lubrication
 16:03:31 Calculation: Maximum chain power rating is limited by link plate fatigue.
 16:03:31 Calculation: Calculation indicates design compliance!

Spur Gears Component Generator (Version: 2020 (Build 240168000, 168))

22/12/2020

Project Info

Guide

Design Guide - Module and Number of Teeth

Unit Corrections Guide - User

Type of Load Calculation - Torque calculation for the specified power and speed

Type of Strength Calculation - Check Calculation

Method of Strength Calculation - ISO 6336:1996

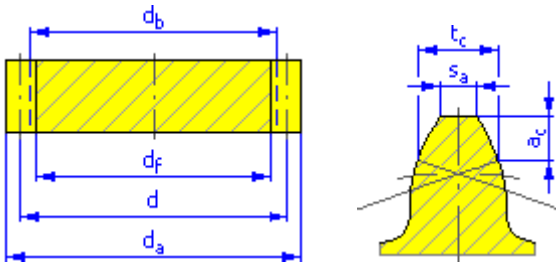
Common Parameters

Gear Ratio	i	5,1111 ul
Desired Gear Ratio	i_{in}	5,0000 ul
Module	m	5,500 mm
Helix Angle	β	20,0000 deg
Pressure Angle	α	20,0000 deg
Center Distance	a_w	321,657 mm
Product Center Distance	a	321,914 mm
Total Unit Correction	Σx	-0,0466 ul
Circular Pitch	p	17,279 mm
Base Circular Pitch	p_{tb}	17,146 mm
Operating Pressure Angle	α_w	19,8655 deg
Tangential Pressure Angle	α_t	21,1728 deg
Tangential Operating Pressure Angle	α_{tw}	21,0542 deg
Base Helix Angle	β_b	18,7472 deg
Tangential Module	m_t	5,853 mm
Tangential Circular Pitch	p_t	18,388 mm
Contact Ratio	ϵ	1,9444 ul
Transverse Contact Ratio	ϵ_a	1,5485 ul
Overlap Ratio	ϵ_β	0,3959 ul
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_x	0,0110 mm
Limit Deviation of Axis Parallelity	f_y	0,0055 mm

Gears

		Gear 1	Gear 2
Type of model		Component	Component
Number of Teeth	z	18 ul	92 ul
Unit Correction	x	0,0000 ul	-0,0466 ul
Pitch Diameter	d	105,354 mm	538,474 mm
Outside Diameter	d_a	116,352 mm	548,960 mm
Root Diameter	d_f	91,604 mm	524,211 mm
Base Circle Diameter	d_b	98,242 mm	502,124 mm
Work Pitch Diameter	d_w	105,269 mm	538,044 mm
Facewidth	b	20,000 mm	20,000 mm
Facewidth Ratio	b_r	0,1898 ul	0,0371 ul
Addendum	a^*	1,0000 ul	1,0000 ul
Clearance	c^*	0,2500 ul	0,2500 ul
Root Fillet	r_f^*	0,3500 ul	0,3500 ul

Tooth Thickness	s	8,639 mm	8,453 mm
Tangential Tooth Thickness	s_t	9,194 mm	8,995 mm
Chordal Thickness	t_c	7,629 mm	7,464 mm
Chordal Addendum	a_c	4,111 mm	3,884 mm
Chordal Dimension	W	42,247 mm	211,244 mm
Chordal Dimension Teeth	z_w	3,000 ul	13,000 ul
Dimension Over (Between) Wires	M	120,201 mm	553,321 mm
Wire Diameter	d_M	10,000 mm	10,000 mm
Limit Deviation of Helix Angle	F_β	0,0110 mm	0,0120 mm
Limit Circumferential Run-out	F_r	0,0220 mm	0,0380 mm
Limit Deviation of Axial Pitch	f_{pt}	0,0090 mm	0,0110 mm
Limit Deviation of Basic Pitch	f_{pb}	0,0085 mm	0,0100 mm
Virtual Number of Teeth	z_v	21,362 ul	109,182 ul
Virtual Pitch Diameter	d_n	117,490 mm	600,502 mm
Virtual Outside Diameter	d_{an}	128,488 mm	610,988 mm
Virtual Base Circle Diameter	d_{bn}	110,404 mm	564,288 mm
Unit Correction without Tapering	x_z	0,4893 ul	-1,9089 ul
Unit Correction without Undercut	x_p	-0,2297 ul	-5,3662 ul
Unit Correction Allowed Undercut	x_d	-0,3997 ul	-5,5362 ul
Addendum Truncation	k	0,0001 ul	0,0001 ul
Unit Outside Tooth Thickness	s_a	0,6897 ul	0,8106 ul
Tip Pressure Angle	α_a	31,6942 deg	22,8177 deg



Loads

		Gear 1	Gear 2
Power	P	0,041 kW	0,037 kW
Speed	n	30,00 rpm	5,87 rpm
Torque	T	13,102 N m	60,271 N m
Efficiency	η	0,900 ul	
Radial Force	F_r	95,827 N	
Tangential Force	F_t	248,932 N	
Axial Force	F_a	90,604 N	
Normal Force	F_n	281,669 N	
Circumferential Speed	v	0,165 mps	
Resonance Speed	n_{E1}	12192,476 rpm	

Material

		Gear 1	Gear 2
		User material	User material
Ultimate Tensile Strength	S_u	700 MPa	700 MPa
Yield Strength	S_y	340 MPa	340 MPa
Modulus of Elasticity	E	206000 MPa	206000 MPa
Poisson's Ratio	μ	0,300 ul	0,300 ul
Bending Fatigue Limit	σ_{Flim}	352,0 MPa	352,0 MPa
Contact Fatigue Limit	σ_{Hlim}	1140,0 MPa	1140,0 MPa

Hardness in Tooth Core	JHV	210 ul	210 ul
Hardness in Tooth Side	VHV	600 ul	600 ul
Base Number of Load Cycles in Bending	N_{Flim}	3000000 ul	3000000 ul
Base Number of Load Cycles in Contact	N_{Hlim}	100000000 ul	100000000 ul
Wöhler Curve Exponent for Bending	q_F	6,0 ul	6,0 ul
Wöhler Curve Exponent for Contact	q_H	10,0 ul	10,0 ul
Type of Treatment	type	2 ul	2 ul

Strength Calculation

Factors of Additional Load

Application Factor	K_A	1,400 ul	
Dynamic Factor	K_{Hv}	1,005 ul	1,005 ul
Face Load Factor	$K_{H\beta}$	2,338 ul	1,801 ul
Transverse Load Factor	$K_{H\alpha}$	1,676 ul	1,835 ul
One-time Overloading Factor	K_{AS}	1,000 ul	

Factors for Contact

Elasticity Factor	Z_E	189,812 ul	
Zone Factor	Z_H	2,379 ul	
Contact Ratio Factor	Z_ϵ	0,866 ul	
Single Pair Tooth Contact Factor	Z_B	1,080 ul	1,000 ul
Life Factor	Z_N	1,000 ul	1,000 ul
Lubricant Factor	Z_L	0,962 ul	
Roughness Factor	Z_R	1,000 ul	
Speed Factor	Z_v	0,928 ul	
Helix Angle Factor	Z_β	0,969 ul	
Size Factor	Z_X	1,000 ul	1,000 ul
Work Hardening Factor	Z_W	1,000 ul	

Factors for Bending

Form Factor	Y_{Fa}	2,768 ul	2,201 ul
Stress Correction Factor	Y_{Sa}	1,577 ul	1,822 ul
Teeth with Grinding Notches Factor	Y_{Sag}	1,000 ul	1,000 ul
Helix Angle Factor	Y_β	0,934 ul	
Contact Ratio Factor	Y_ϵ	0,684 ul	
Alternating Load Factor	Y_A	1,000 ul	1,000 ul
Production Technology Factor	Y_T	0,814 ul	0,814 ul
Life Factor	Y_N	1,000 ul	1,000 ul
Notch Sensitivity Factor	Y_δ	1,119 ul	1,134 ul
Size Factor	Y_X	1,000 ul	1,000 ul
Tooth Root Surface Factor	Y_R	1,000 ul	

Results

Factor of Safety from Pitting	S_H	2,819 ul	3,045 ul
Factor of Safety from Tooth Breakage	S_F	10,933 ul	12,057 ul
Static Safety in Contact	S_{Hst}	2,556 ul	2,761 ul
Static Safety in Bending	S_{Fst}	30,008 ul	32,660 ul
Check Calculation		Positive	

Summary of Messages

16:04:55 Design: Gear 1: The Unit Correction (x) is less than the Unit Correction without Tapering (x_z)

16:04:55 Calculation: Calculation indicates design compliance!