

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PMC-3453 MÁQUINAS DE FLUXO

LABORATÓRIO

1º SEMESTRE - 2023

PROF. SÉRGIO ROBERTO CECCATO

MÁQUINAS DE FLUXO

EXPERIÊNCIA Nº 4

VERIFICAÇÃO DAS LEIS DE SEMELHANÇA PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS RADIAIS

PROF. SÉRGIO ROBERTO CECCATO
2023

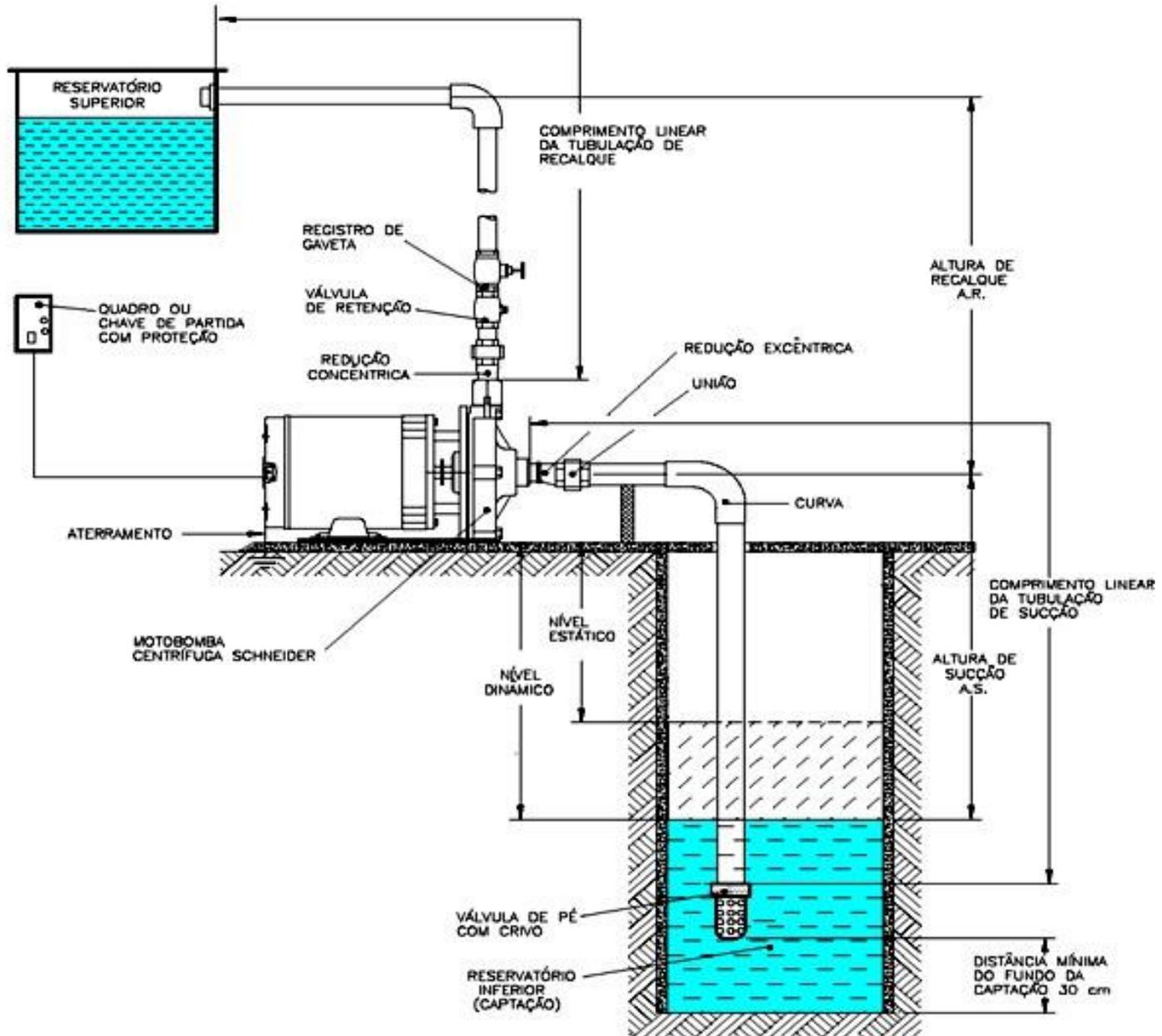
ON LINE PARA A T-21 EM 12-06-2023
PRESENCIAL PARA A T-22 EM 19-06-2023

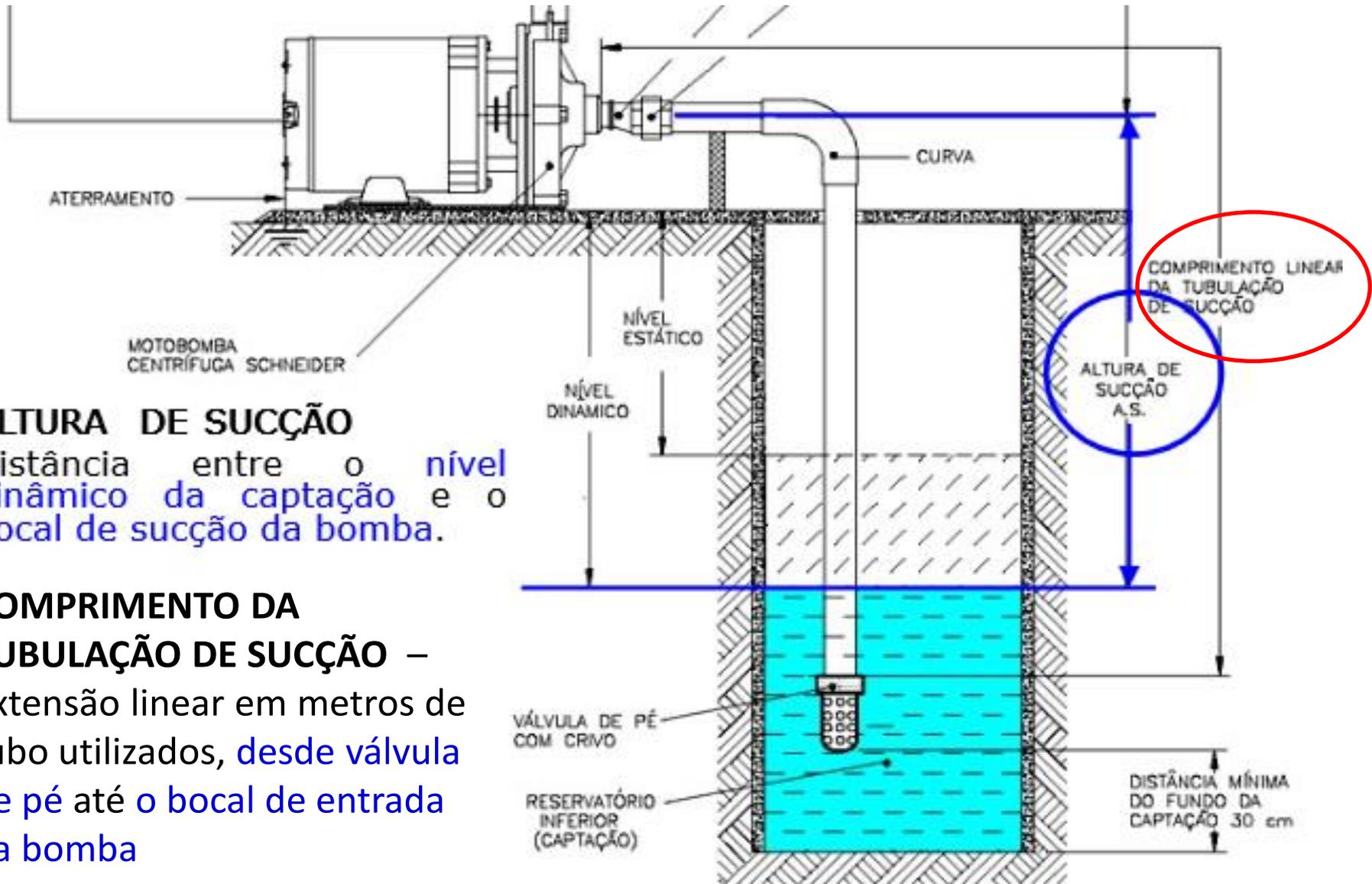
INSTALAÇÕES DE RECALQUE

OU

INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS

INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS



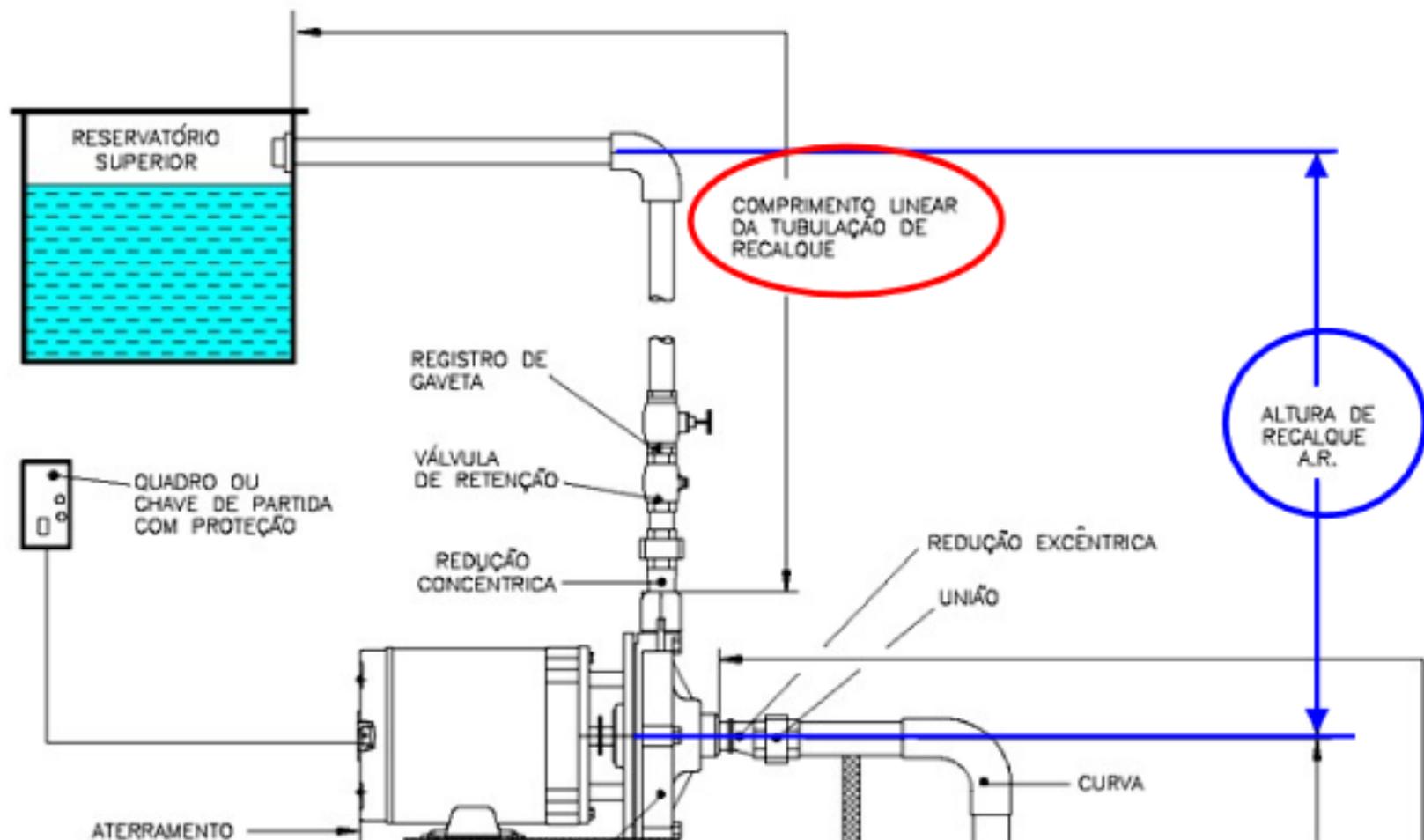


ALTURA DE SUÇÃO

Distância entre o nível dinâmico da captação e o bocal de sucção da bomba.

COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DE SUÇÃO –

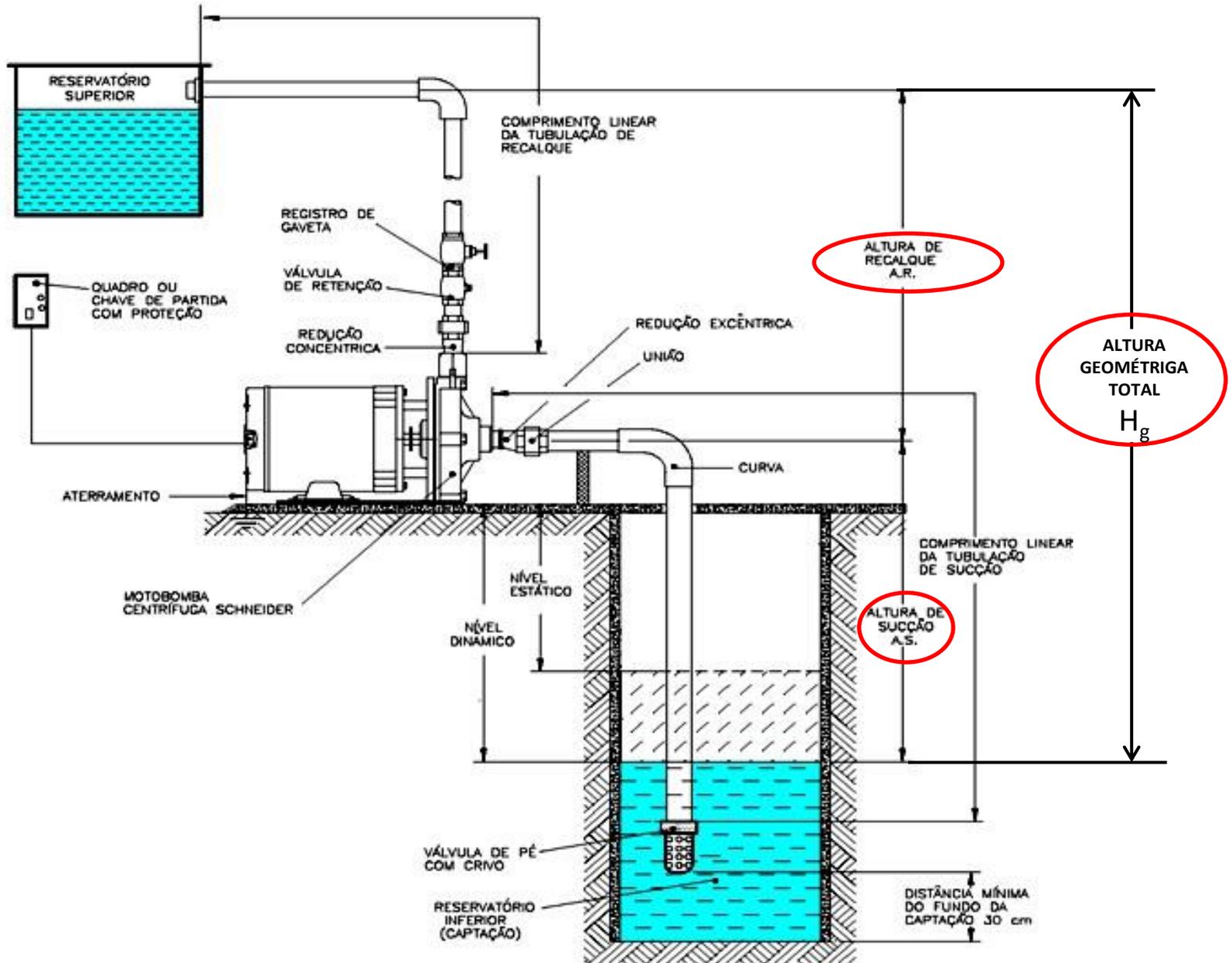
Extensão linear em metros de tubo utilizados, desde válvula de pé até o bocal de entrada da bomba

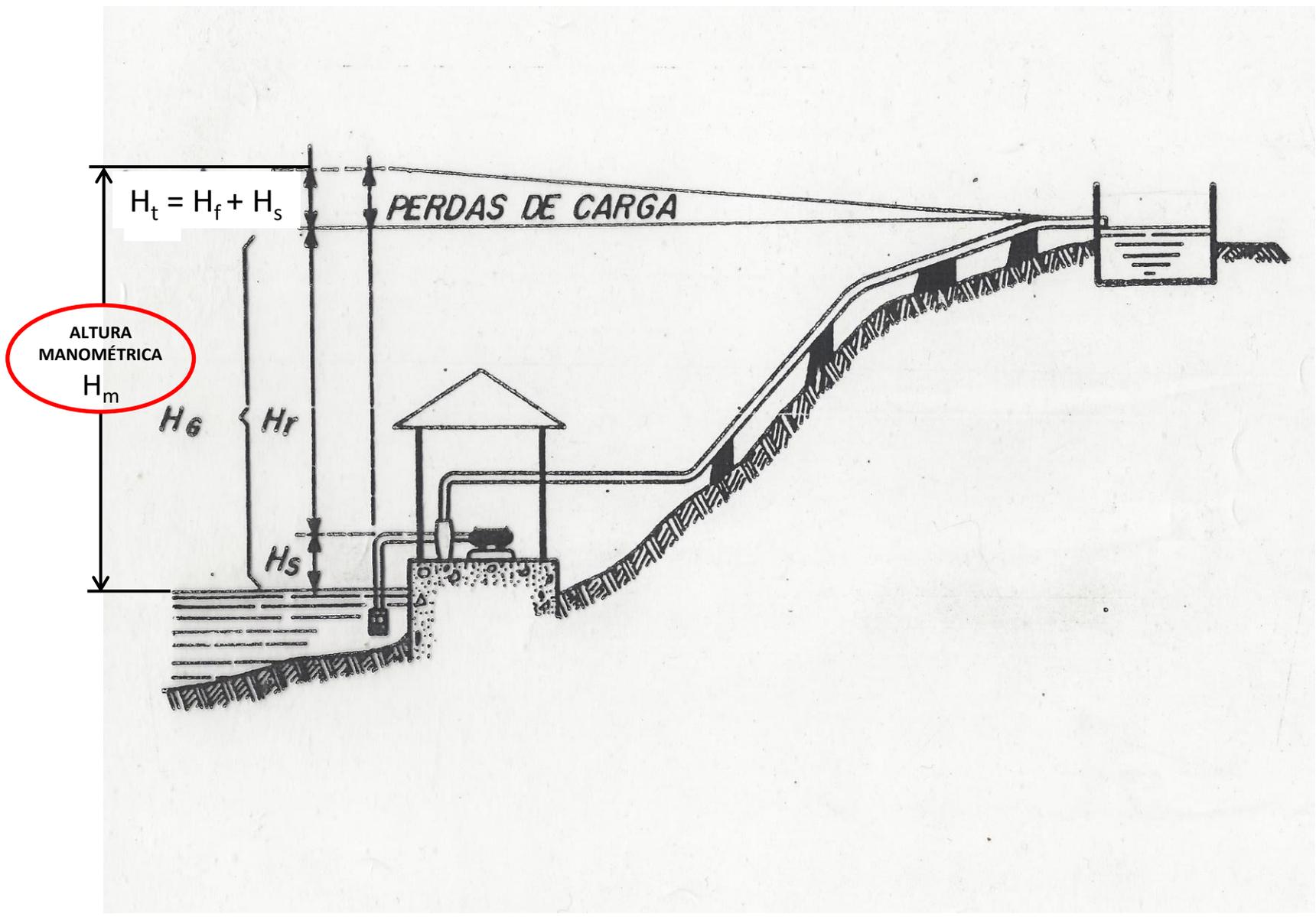


ALTURA DE RECALQUE (AR) – Desnível entre o **bocal de sucção da bomba** e o **ponto de maior elevação** do fluido até o destino final da instalação (reservatório, etc.).

COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO DE RECALQUE - Extensão linear em metros de tubo, desde a saída da bomba até o ponto final da instalação.

INSTALAÇÕES ELEVATÓRIAS





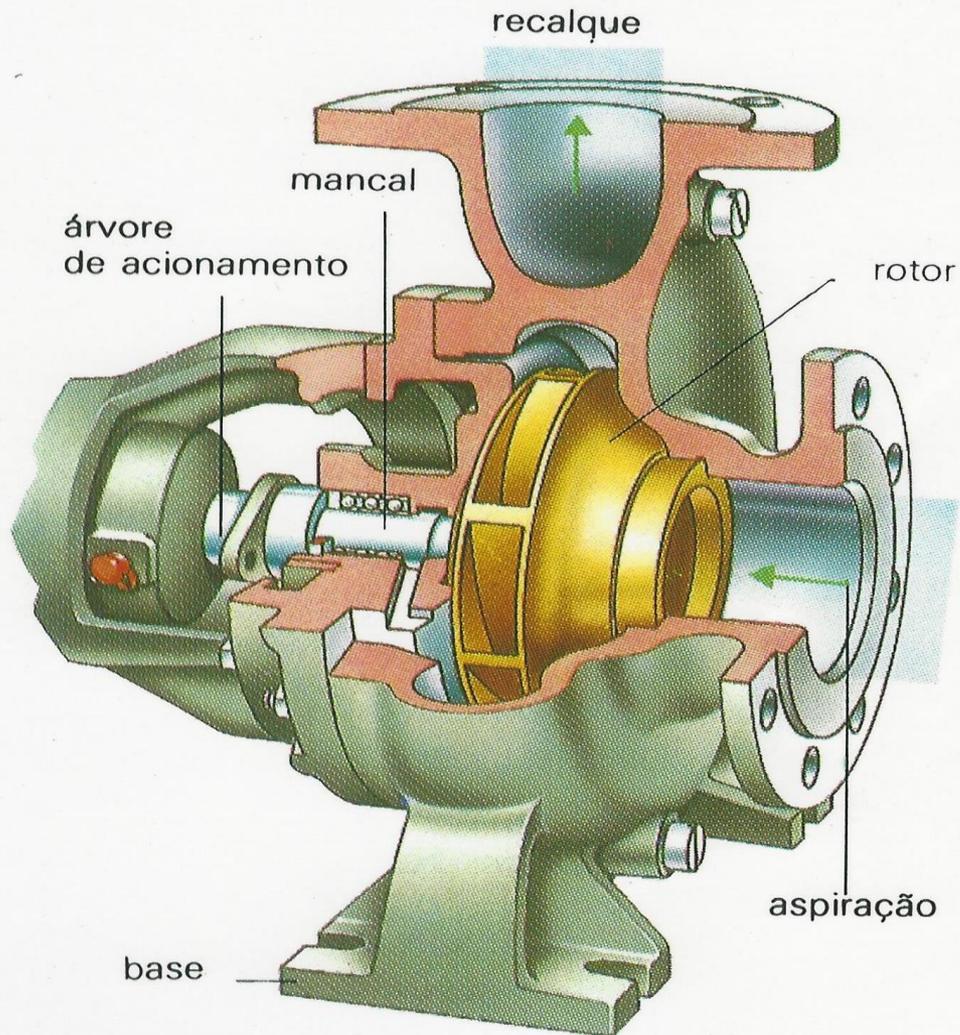
MÁQUINAS DE FLUXO

EXPERIÊNCIA Nº 4

VERIFICAÇÃO DAS LEIS DE SEMELHANÇA PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS RADIAIS

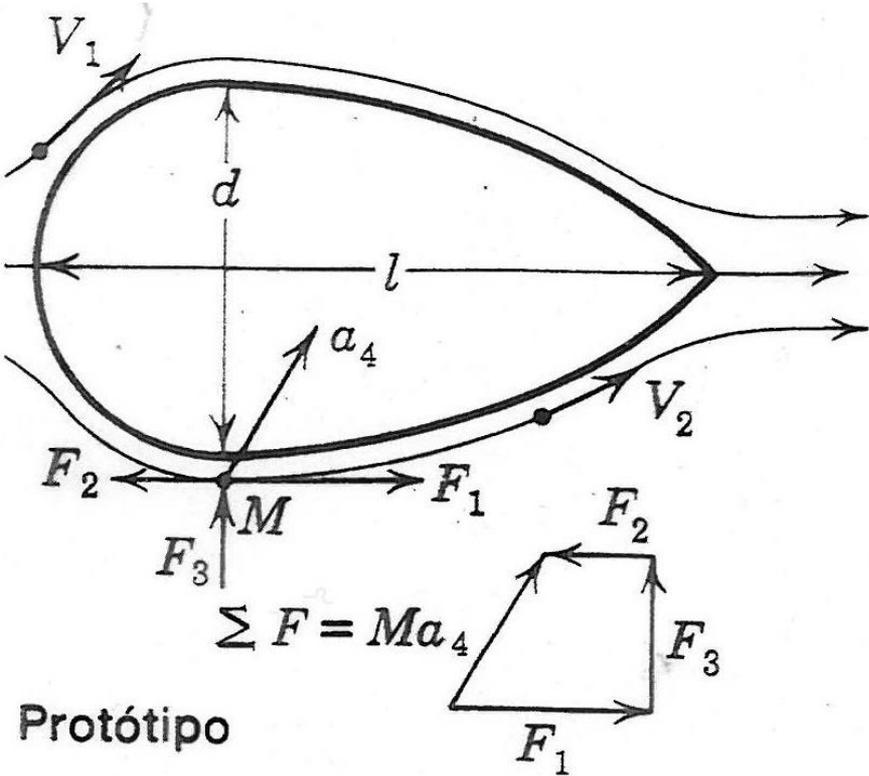
**PROF. SÉRGIO ROBERTO CECCATO
2023**

BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL

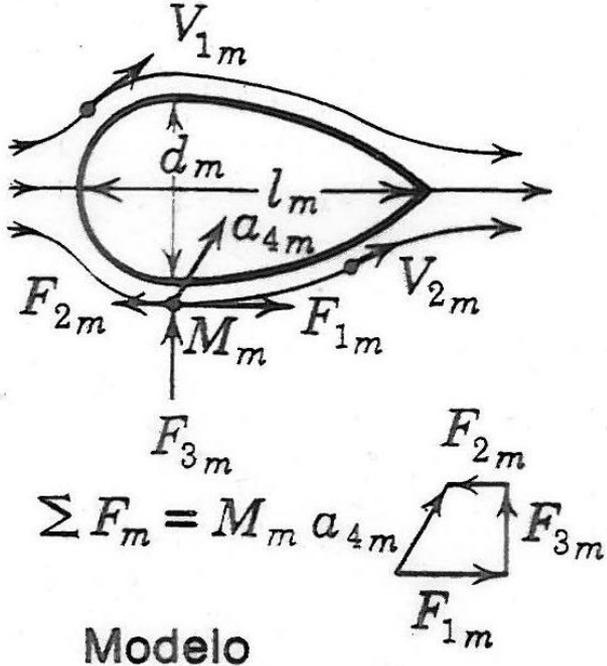


Princípio de funcionamento de uma **bomba** centrífuga.

Similaridade Geométrica, Cinemática e Dinâmica



Protótipo



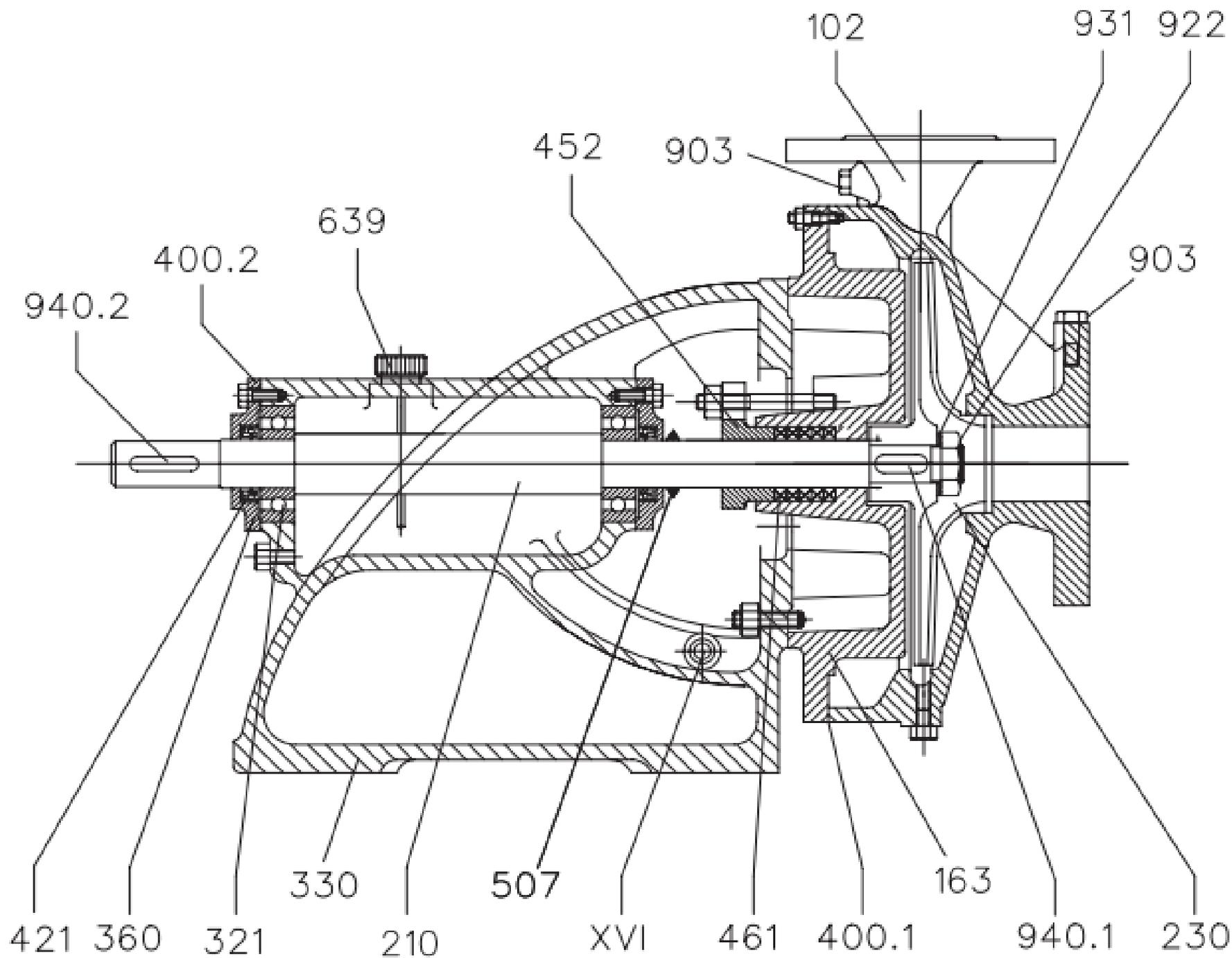
Modelo



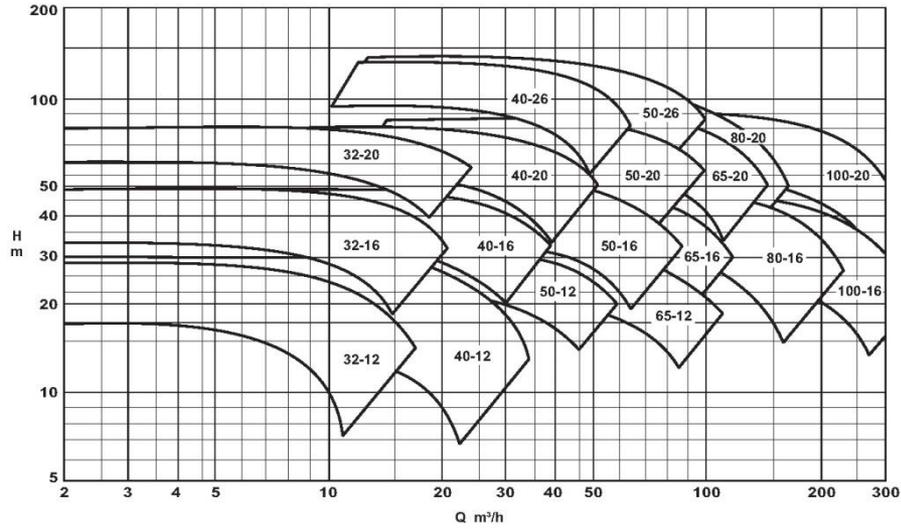
BOMBA CENTRÍFUGA RADIAL



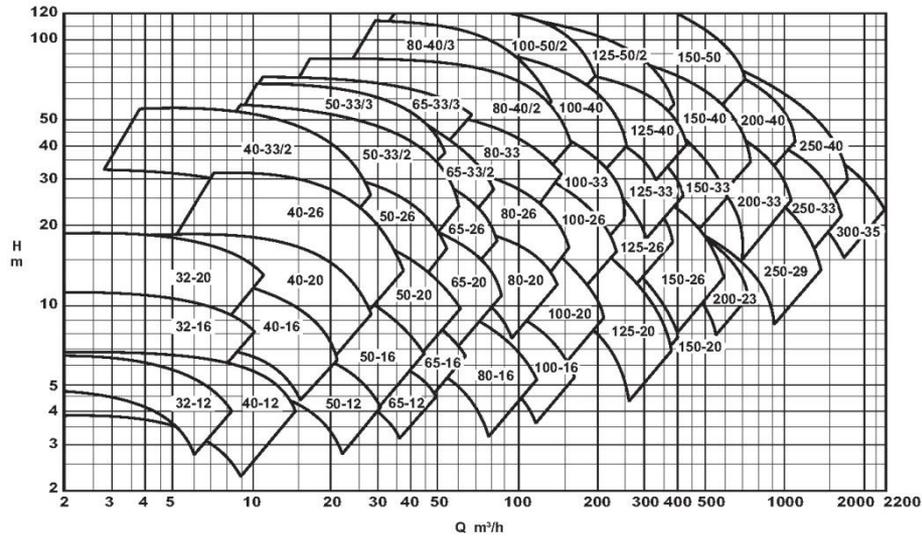




5. Campo de Aplicação - 60 Hz

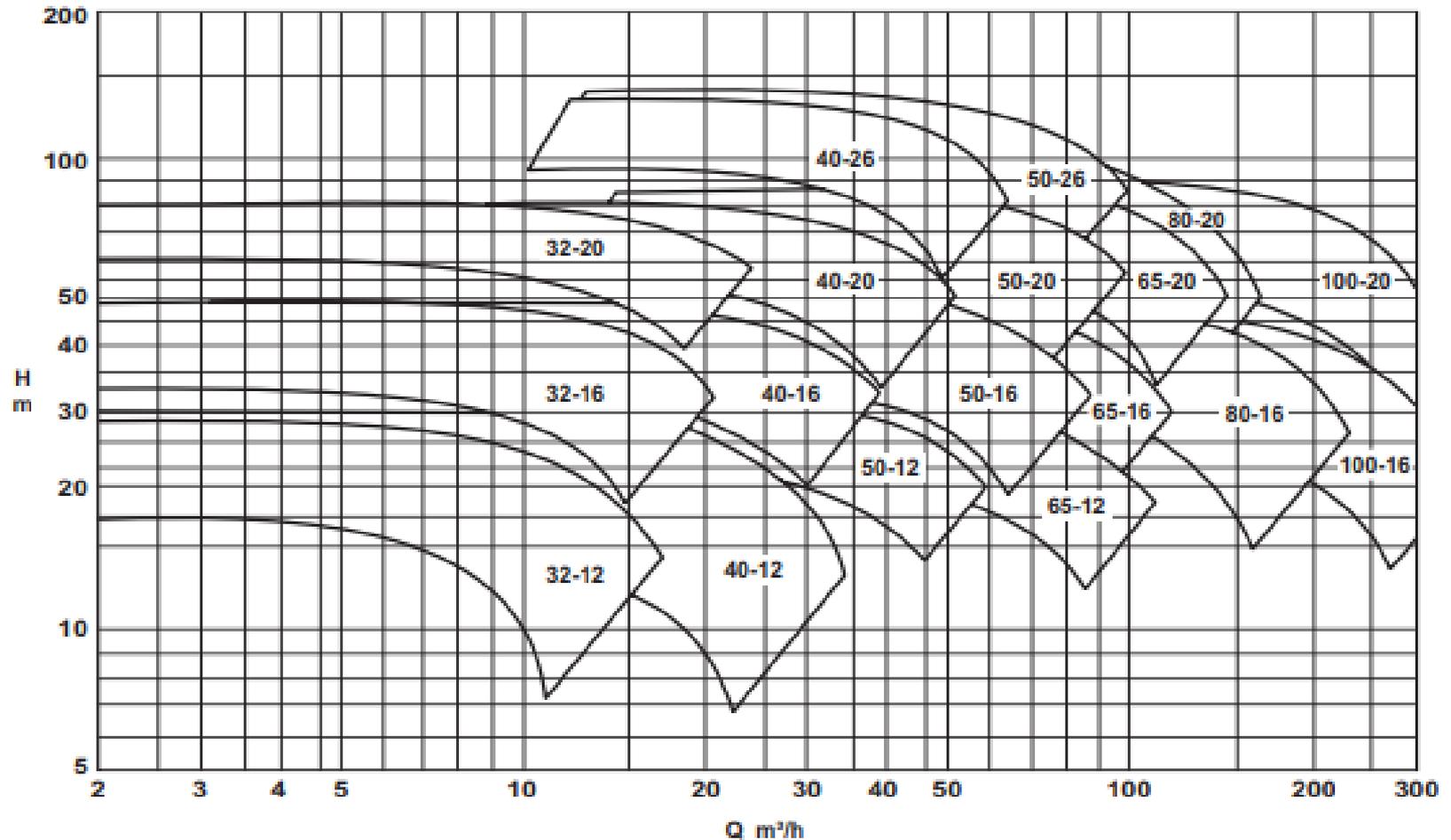


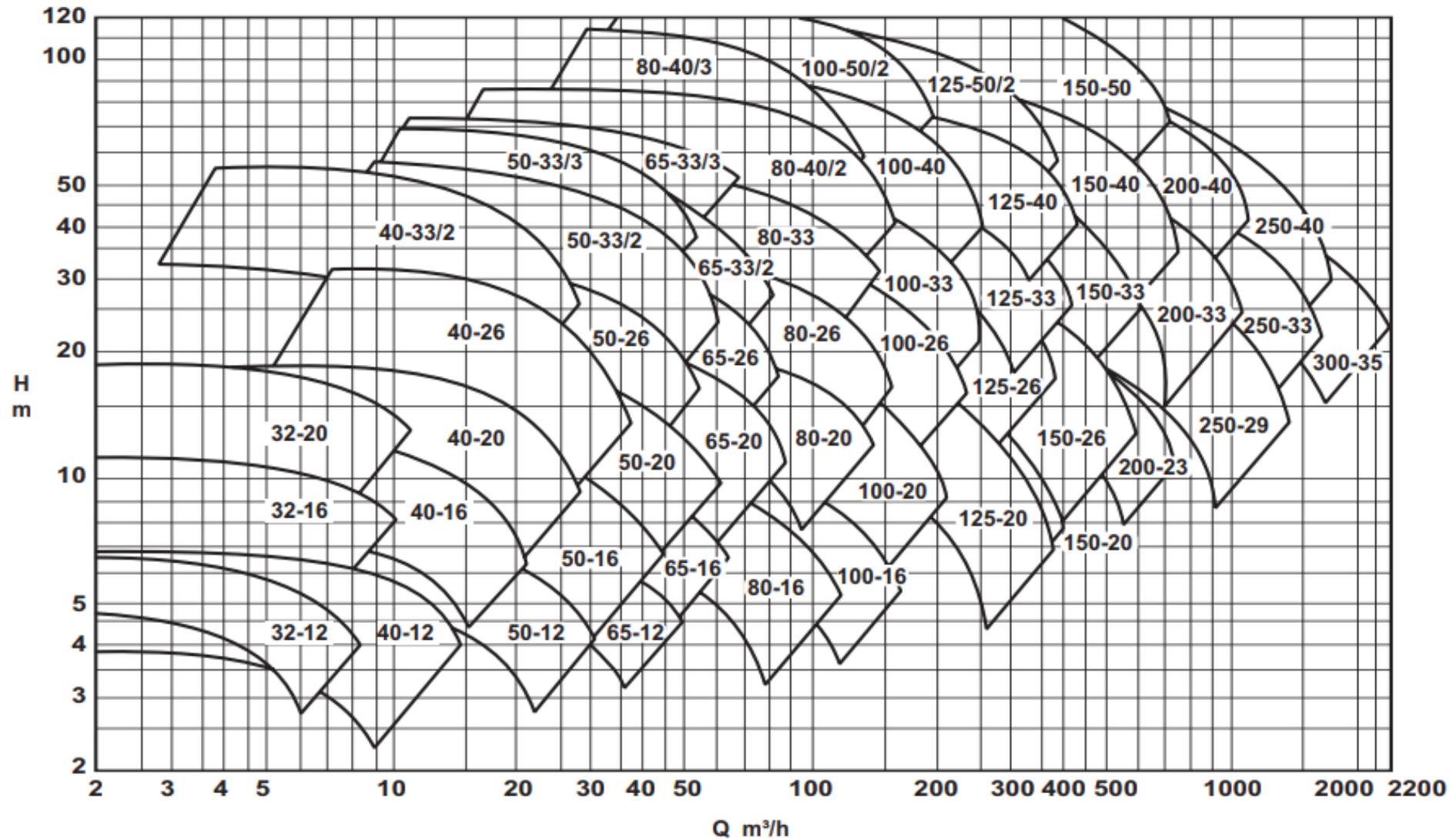
3.500 rpm



1.750 rpm

5. Campo de Aplicação - 60 Hz





1.750 rpm

Bomba Tipo
 Pump Type **KSB ETA**
 Tipo de Bomba

Tamanho
 Size **125-33**
 Tamanho



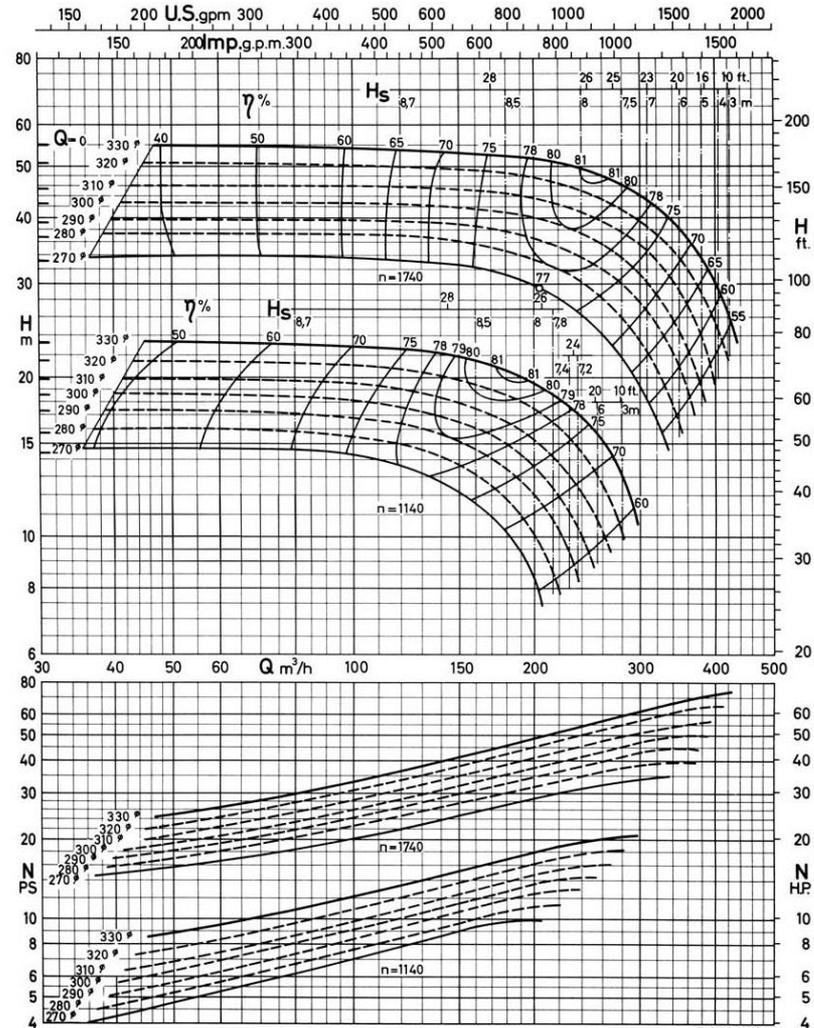
Oferta nº _____
 Project - No. _____
 Oferta - nº _____

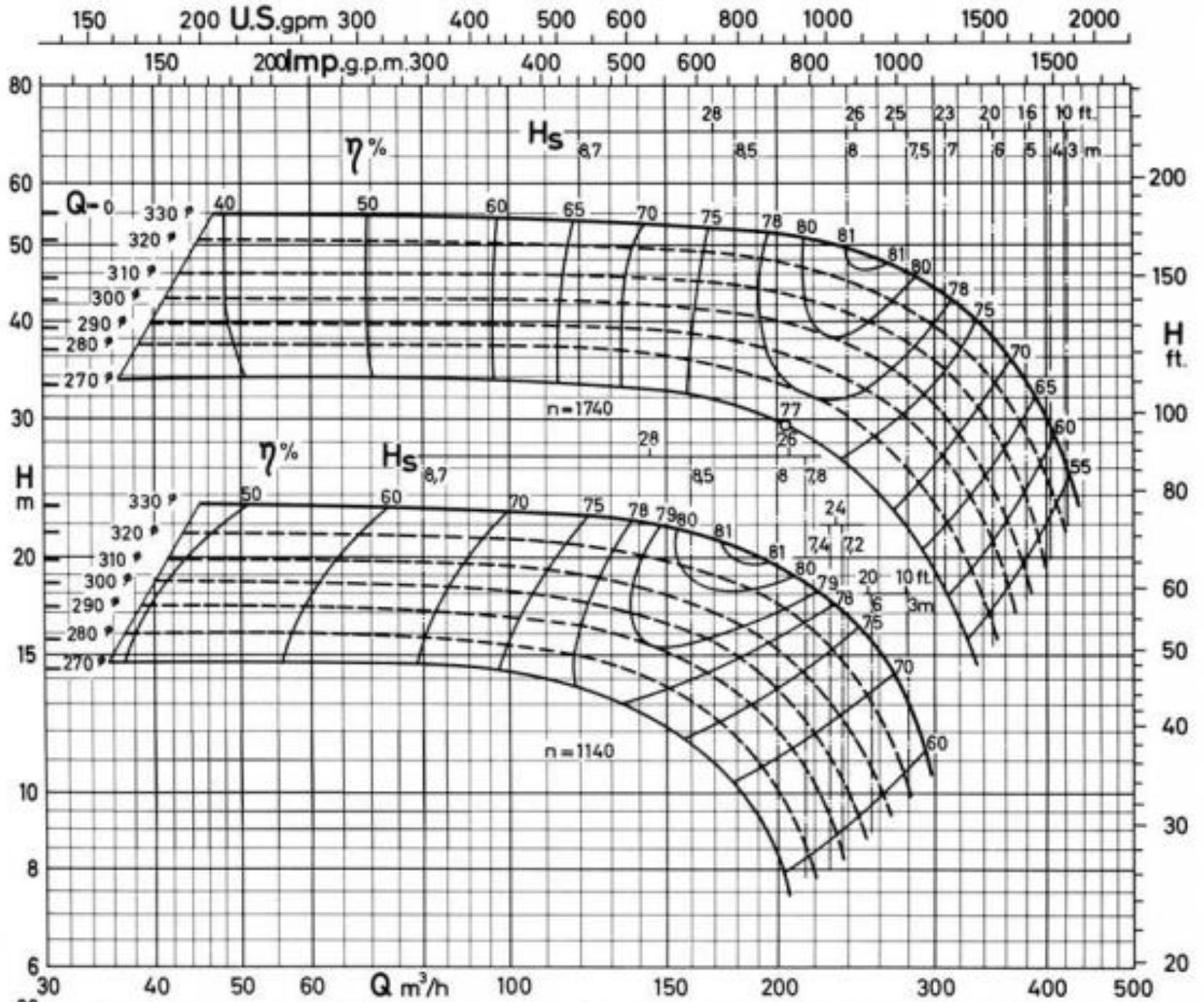
Item nº _____
 Item - No. _____
 Pos - nº _____

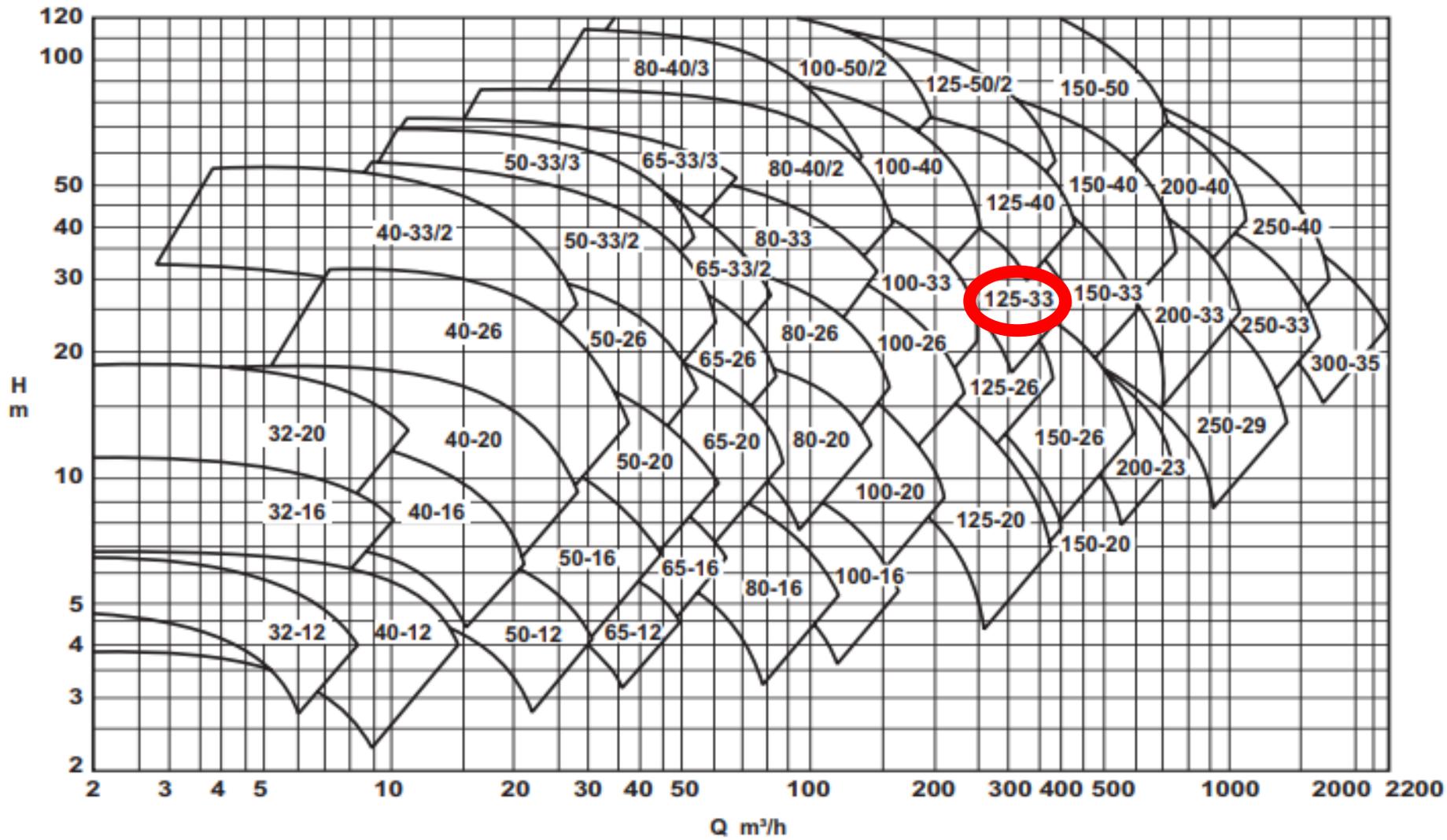
Velocidade Nominal **1740 rpm**
 Nom. Rotative Speed
 Velocidad Nominal **1140 rpm**

Altura Manométrica
 Head
 Altura Manométrica

Potência Necessária
 Shaft Power
 Potencia Necesaria

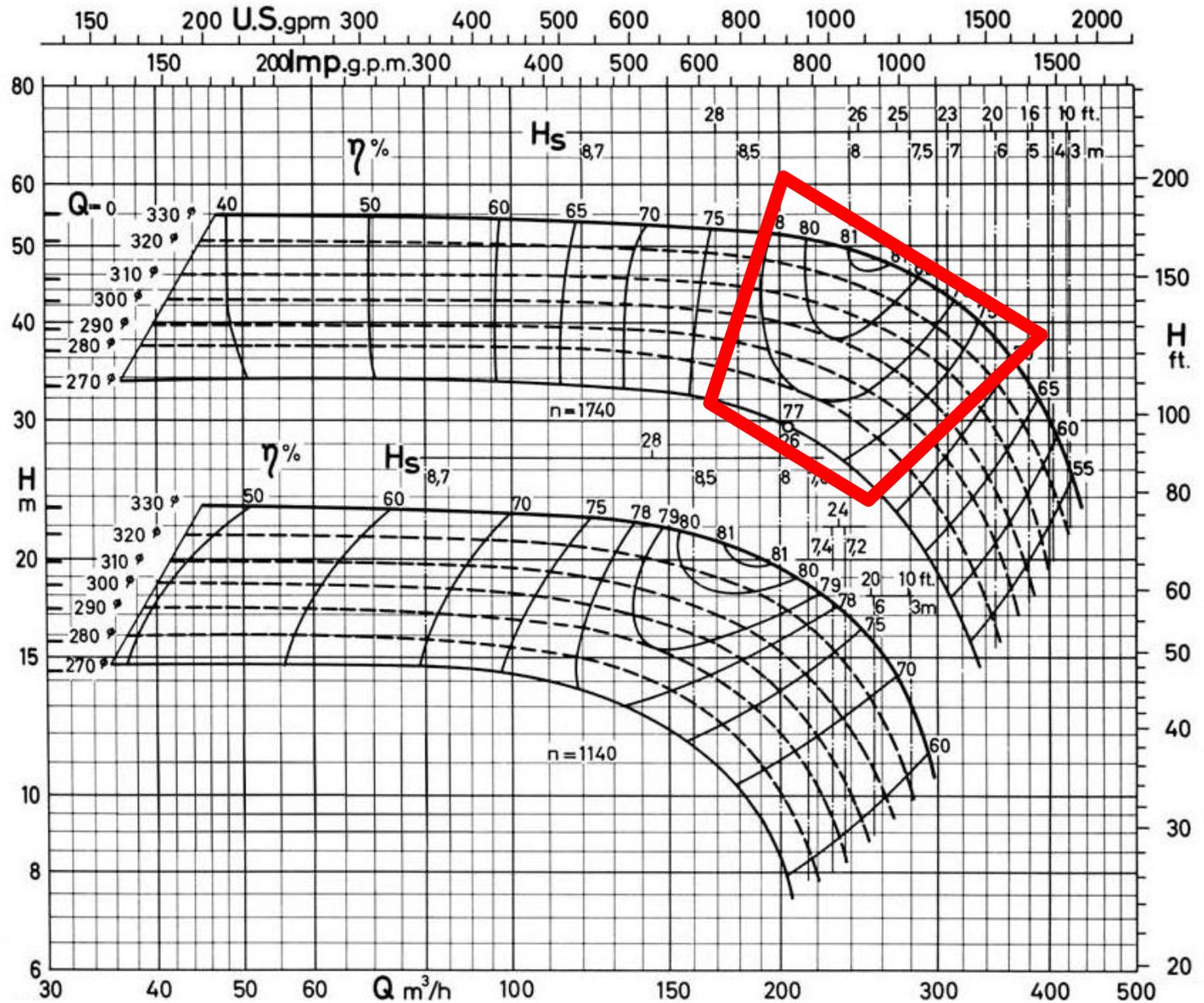




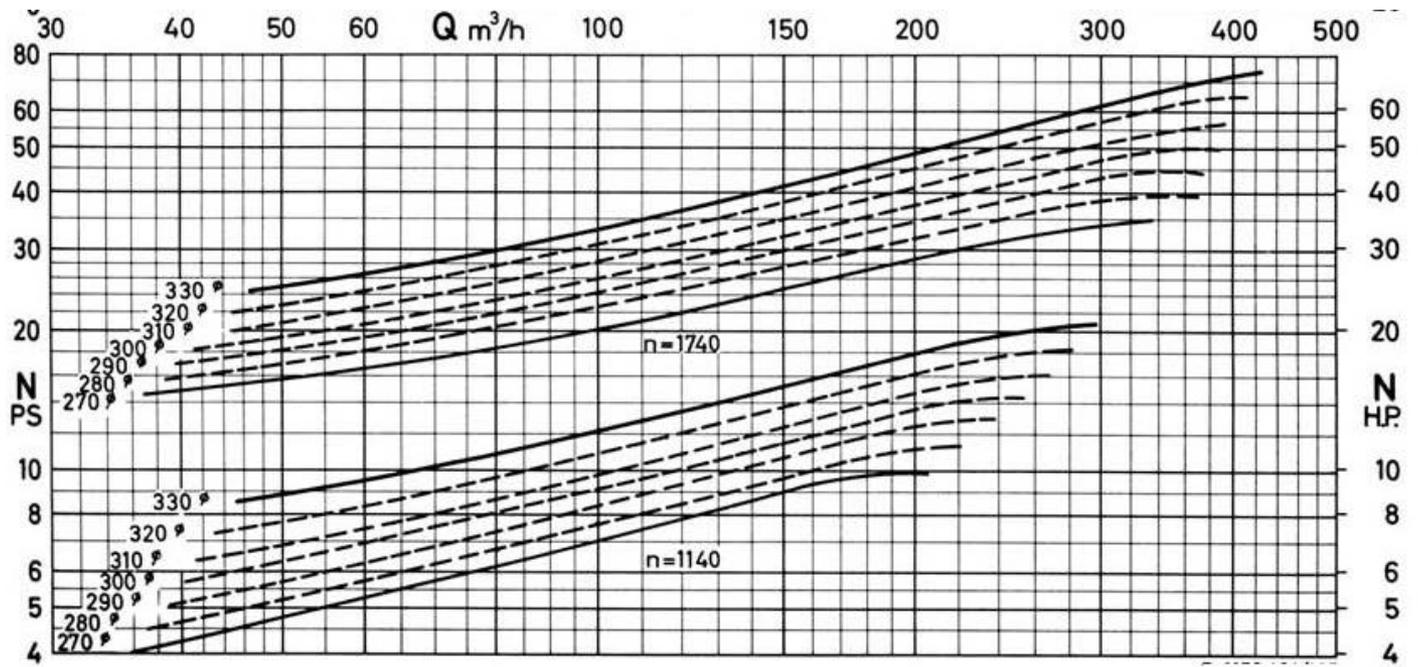


1.750 rpm

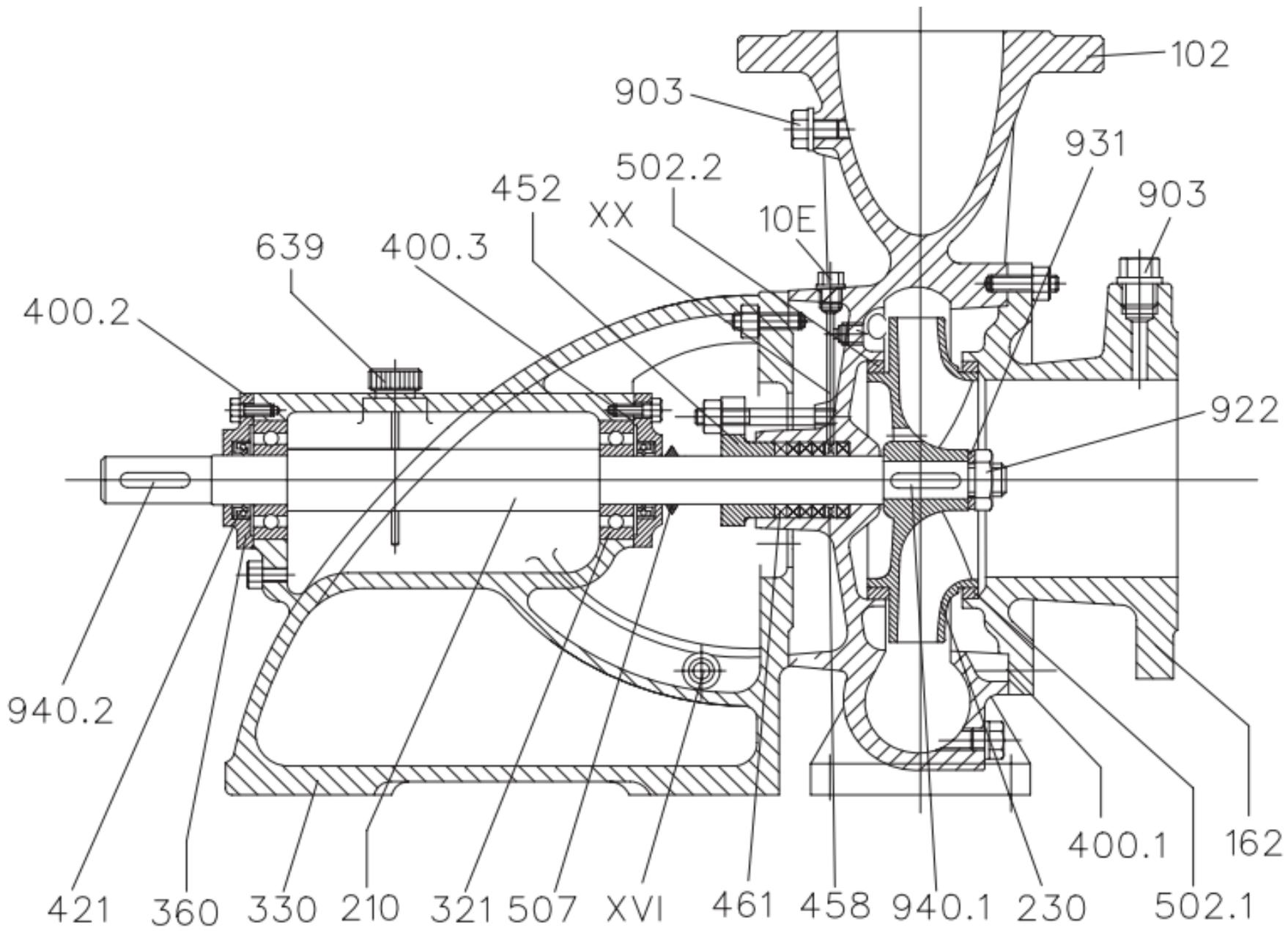
Altura Manométrica
Head
Altura Manométrica

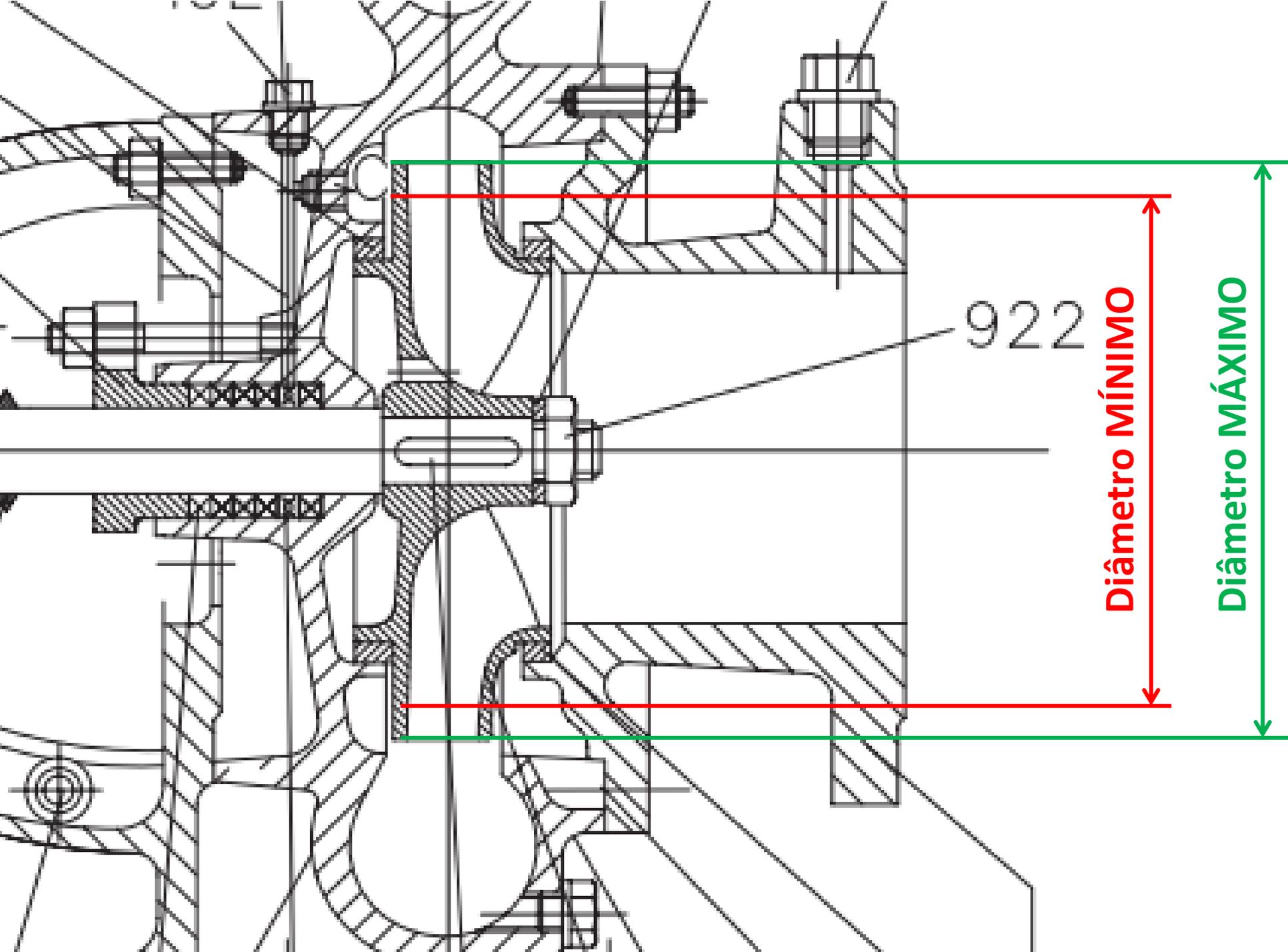


Potência Necessária
Shaft Power
Potencia Necesaria



R1150.464/425





922

Diâmetro MÍNIMO

Diâmetro MÁXIMO



N/Ref.: PROJETA

Revisão: 0

Item num.: 1

Tag num.:

Bomba: ETA 125-33

Projeto:

Vazão: 250 m³/h

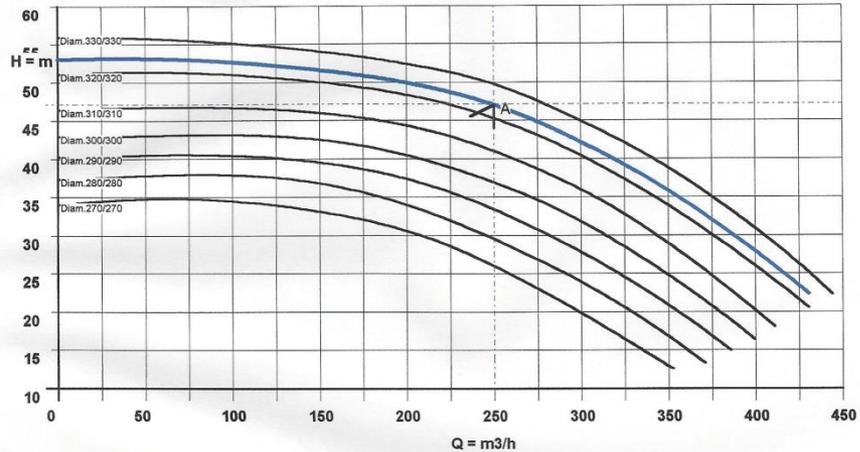
NPSHR: 3,41

Diam.Rotor Projeto: 324mm

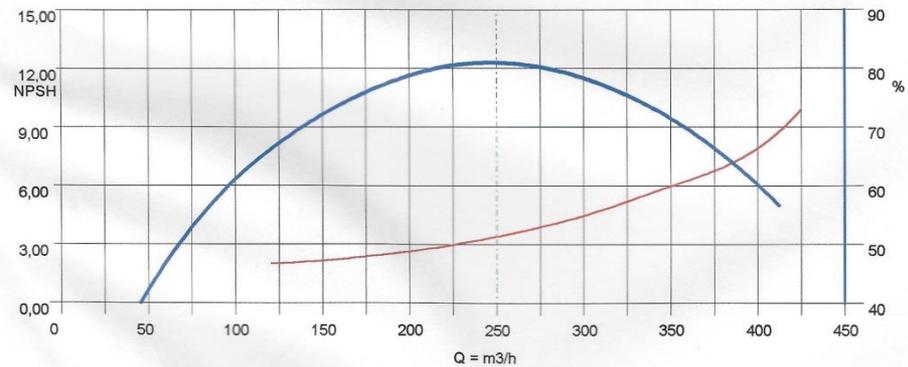
Altura: 47,00 m

Rotação: 1750 rpm

Visc.: 1 SSU



A = Ponto de operação



Rendimento %
NPSHr

N/Ref.: **PROJETISTA**

Item num.: **1**

Bomba: **ETA 125-33**

Vazão: **250 m³/h**

Altura: **47,00 m**

Revisão: **0**

Tag num.:

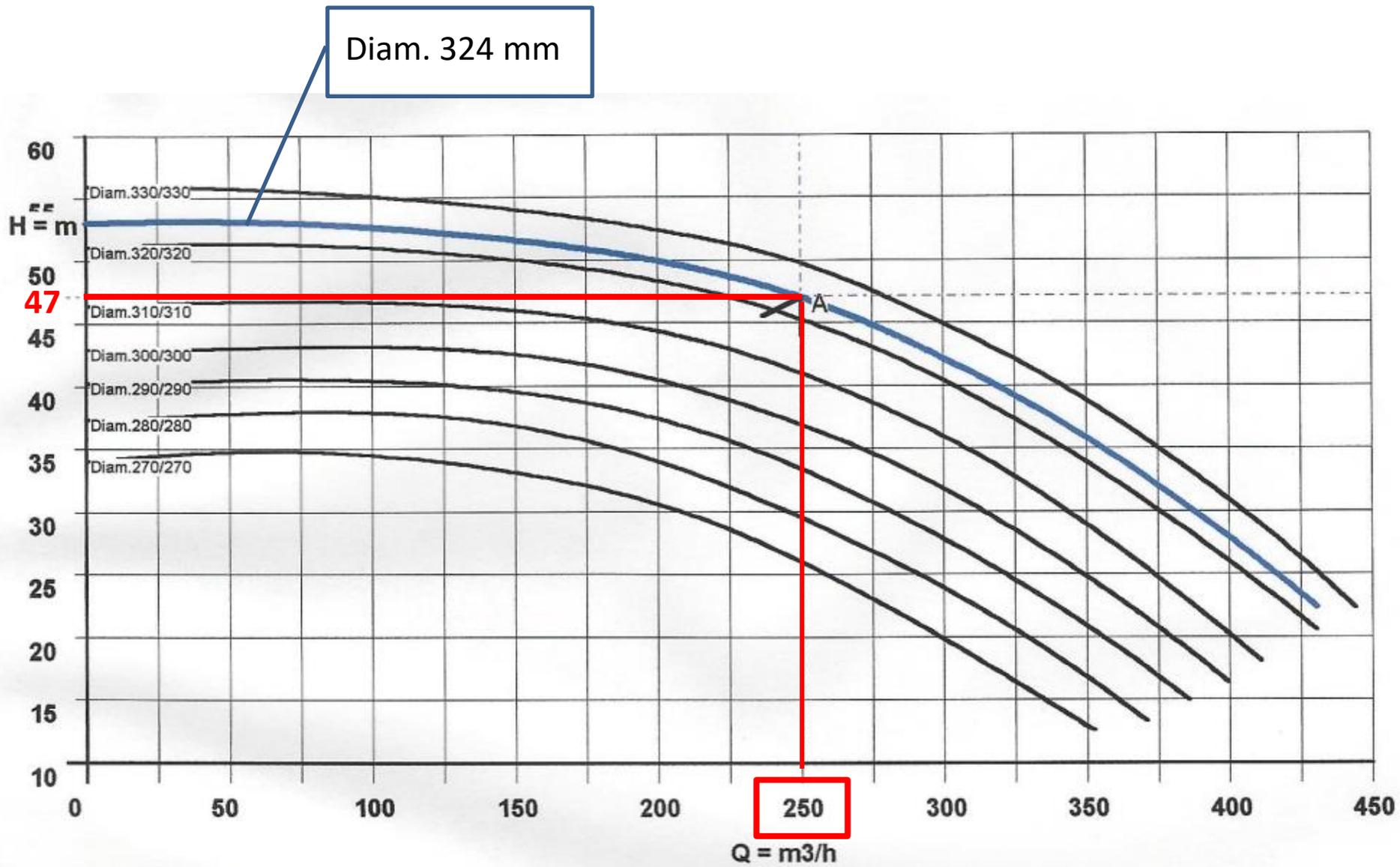
Projeto:

NPSHR: **3,41**

Rotação: **1750 rpm**

Diam.Rotor Projeto: **324mm**

Visc.: 1 SSU



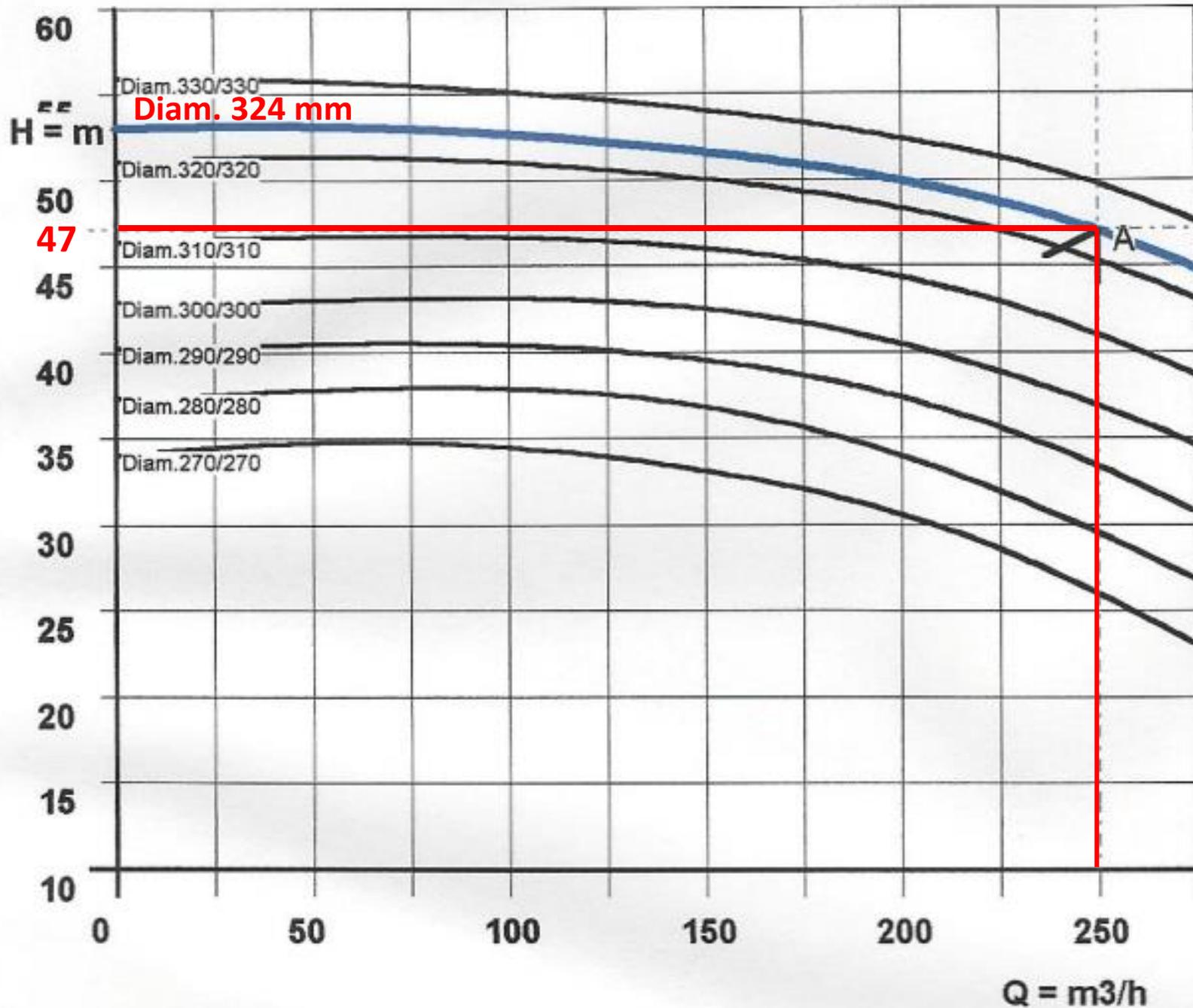
Diam. 324 mm

47

250

Q = m³/h

A = Ponto de operação



1. Introdução

O objetivo da presente experiência é a verificação da validade das leis de semelhança para bombas centrífugas.

Para isso, serão levantadas curvas de altura manométrica da bomba (H_m) em função da vazão (Q), para duas rotações (n_1 e n_2) distintas da bomba.

Espera-se produzir como resultado principal uma avaliação comparativa entre o modelo teórico e o experimental, interpretando os eventuais desvios.

2. Resumo Teórico

Equação de Energia para Escoamentos

$$H = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z$$

Energia na seção 1 (entrada da bomba):

$$H_1 = \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1$$

Energia na seção 2 (saída da bomba):

$$H_2 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

Energia transferida da bomba para o fluido, sendo o índice 1 entrada da bomba, e o índice 2 saída da bomba :

$$H_m = H_2 - H_1 = \left(\frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} \right) + \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} \right) + (z_2 - z_1)$$

$$v_1 = v_2$$

$$H_m = \frac{p_2}{\gamma} - \frac{p_1}{\gamma} + \Delta z$$

Para a geometria da instalação conforme o “Esquema da Instalação” abaixo temos:

$$M_r = \frac{p_2}{\gamma}$$

M_r = Leituras no **Manômetro**: instalado no recalque da bomba, para as medições das **pressões relativas**, no caso acima da atmosférica (leituras **positivas**), na tubulação de recalque;

$$M_s = \frac{p_1}{\gamma}$$

M_s = Leituras no **Vacuômetro**: instalado na sucção da bomba, para as medições das **pressões relativas**, no caso abaixo da atmosférica (leituras **negativas**), na tubulação de sucção;

Temos portanto o sinal menos antes da leitura de $\frac{p_1}{\gamma}$,
logo, para a geometria da presente instalação,
podemos escrever de uma maneira geral a soma em
módulo:

$$H_m = M_r + M_s + \Delta z$$

Coeficientes da Análise Dimensional

Coeficiente de energia:

$$C_E = \frac{g \cdot H_m}{n^2 \cdot D^2}$$

Coeficiente de vazão:

$$C_Q = \frac{Q}{n \cdot D^3}$$

Condições de semelhança para mudança de rotação:

$$C_{E n_1} = C_{E n_2} \rightarrow H_{m1} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot H_{m2}$$

$$C_{Q n_1} = C_{Q n_2} \rightarrow Q_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \cdot Q_2$$

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)$$

$$H_{m2} = \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \cdot H_{m1}$$

$$H_{m2} = \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^2 \cdot H_{m1}$$

Se H_{m1} e Q_1 , são pontos conhecidos de uma determinada curva de uma bomba a uma rotação n_1 ,

e

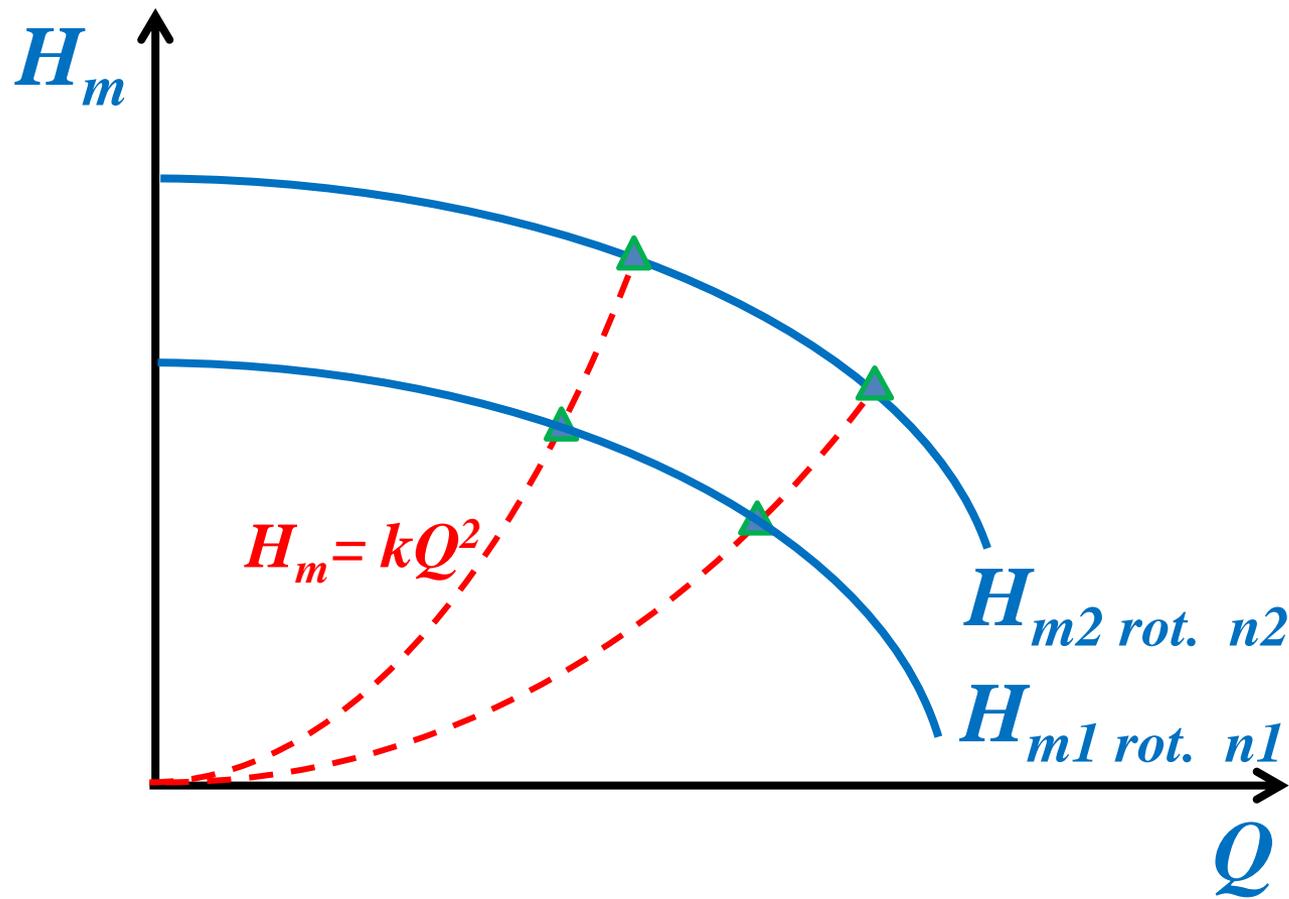
H_{m2} e Q_2 são pontos a serem determinados a uma rotação n_2 , podemos portanto escrever de uma forma geral:

$$H_{m2} = \frac{H_{m1}}{Q_1^2} \cdot Q_2^2$$

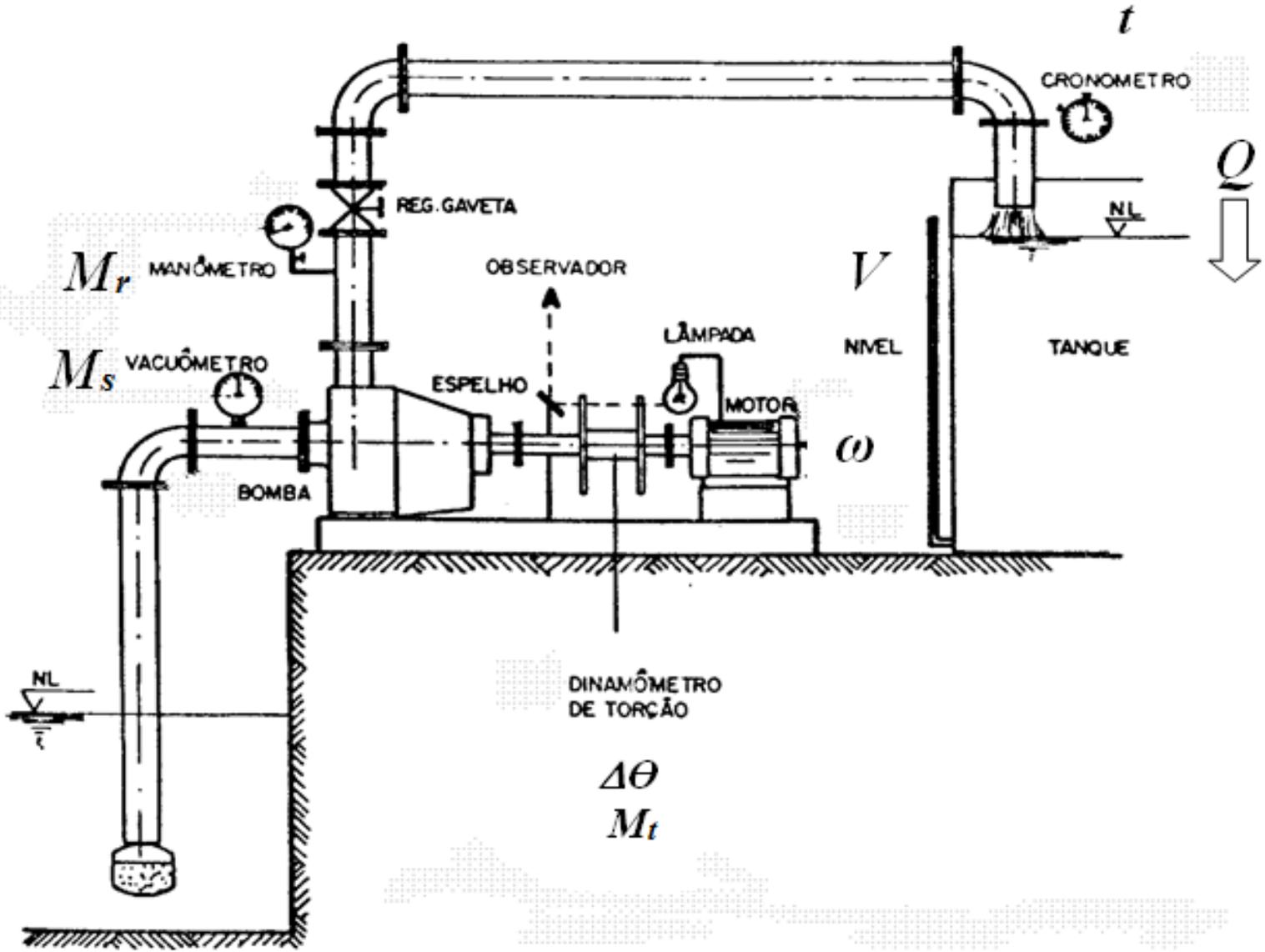
$$H = K \cdot Q^2$$

Esta equação é denominada por:

“PARÁBOLA DE FUNCIONAMENTO SEMELHANTE”



3. Esquema da instalação



NDF

Laboratório de Mecânica dos Fluidos

• Fluido-Dinâmica • Velocimetria Laser

INSTALAÇÃO



INSTALAÇÃO

PAINEL COM INVERSOR DE
FREQUÊNCIA PARA AJUSTE
DA ROTAÇÃO



Será utilizado nesta experiência:

Inversor de Frequência: para a variação e a medição da rotação do motor acoplado ao eixo do rotor da bomba;

Vacuômetro: para as medições das pressões relativas, no caso abaixo da atmosférica (negativas), na tubulação de sucção;

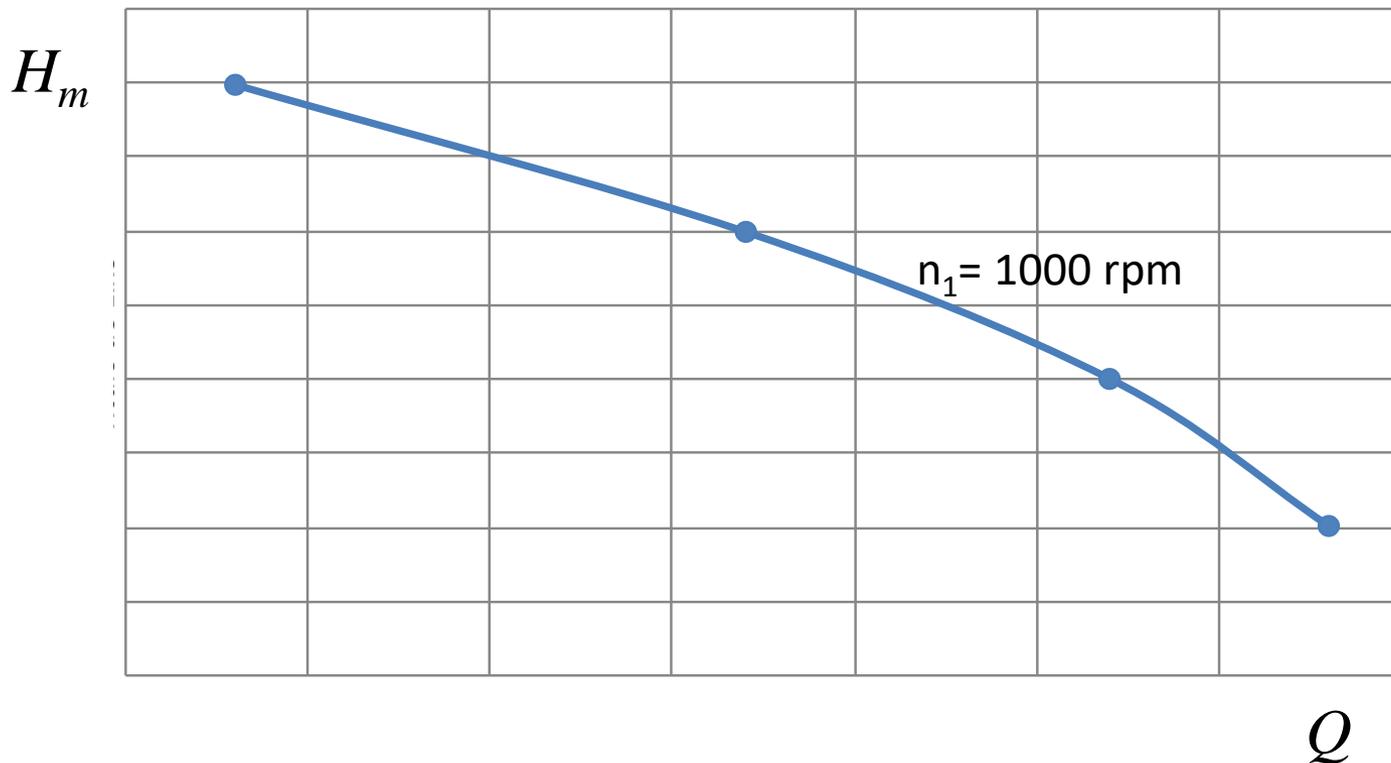
Manômetro: para as medições das pressões relativas, no caso acima da atmosférica (positivas), na tubulação de recalque;

Registro Gaveta: para a regulagem da vazão;

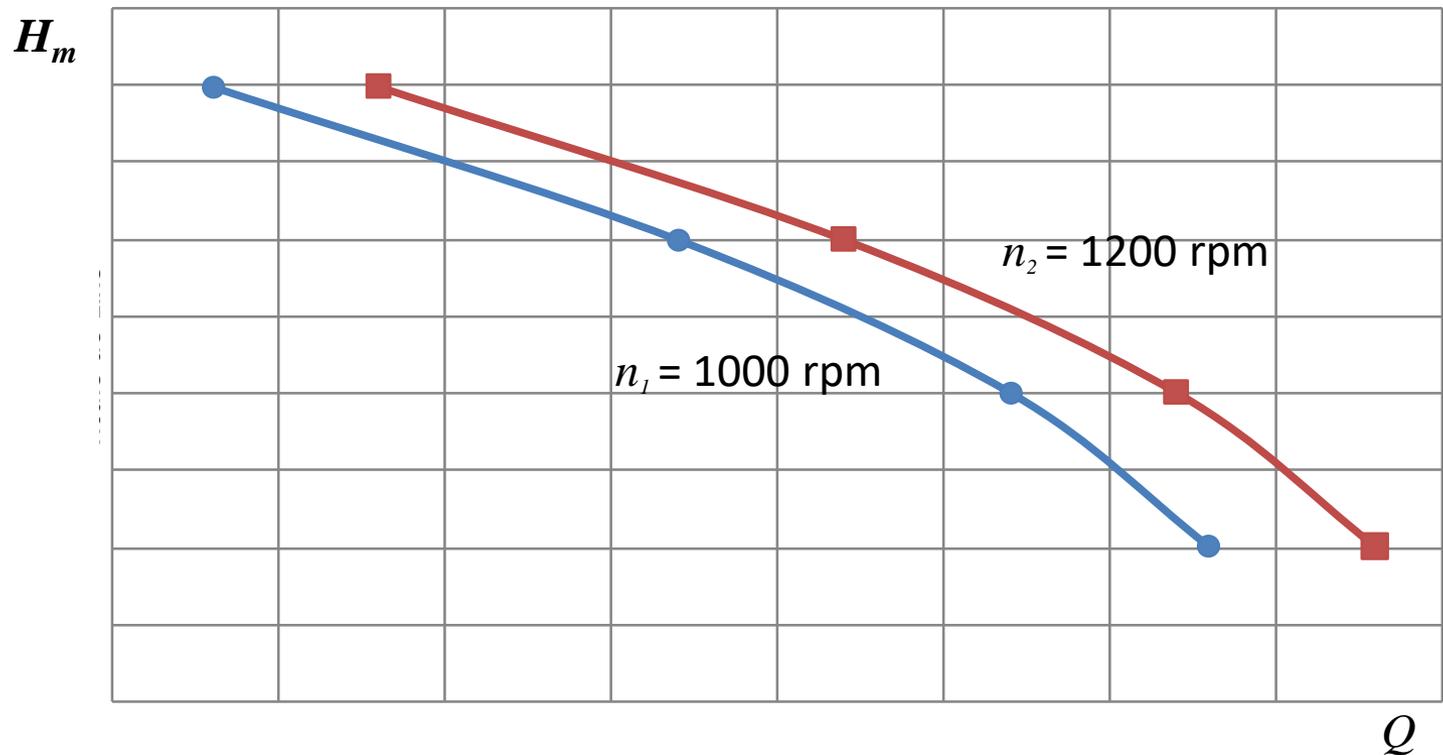
Reservatório de 2000 L: para a medição das vazões.

4. Procedimento no Ensaio

- Regular a rotação do motor para $n_1 = 1000$ rpm
- Regular o registro gaveta para uma determinada vazão (Q)
- Manter a rotação do motor ($n_1 = 1000$ rpm) constante
- Medir M_r (valores positivos), M_s (valores negativos) e Δz
- Medir a vazão (Q) no reservatório de 2000 L
- Repetir os procedimentos de **b.** até **f.** para pelo menos cinco vazões
- Levantar a curva $H_m = f(Q)$ para a rotação $n_1 = 1.000$ rpm



- h. Alterar a rotação para $n_2 = 1200$ rpm
- i. Repetir os procedimentos de **b.** até **f.** para pelo menos cinco vazões
- j. Levantar no mesmo gráfico a curva de $H_m = f(Q)$ para a rotação $n_2 = 1.200$ rpm



(Indicar no gráfico diferentes marcadores para os pontos das curvas distintas.)

5. Dados Experimentais e Calculados (Tabela Sugerida)

n	PONTOS	Mr		Ms		Δz	Hm	Vol.	Tempo	Q
rpm		(*)	m	(*)	m	m	m	l	s	l/s
$n_1=1000$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
$n_2=1200$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									

(*) Verificar as unidades de medida de pressão dos manômetros

6. Verificação das Condições de Semelhança

Tendo levantado todos os pontos os quais permitem traçar as duas curvas experimentais para as rotações de $n_1 = 1.000$ rpm e $n_2 = 1.200$ rpm resta validar o modelo de semelhança.

Para isso calcular teoricamente H_{m1000} e Q_{1000} através das equações de semelhança utilizando preferivelmente pelo menos três pontos da curva $H_{m1200} = f(Q_{1200})$ e não os obtidos experimentalmente para que não sejam ampliados os erros experimentais.

Levantar a curva teórica $H_{m1000} = f(Q_{1000})$ e comparar com a curva já obtida experimentalmente.

O comportamento esperado é a proximidade das curvas com consequente validação do modelo.

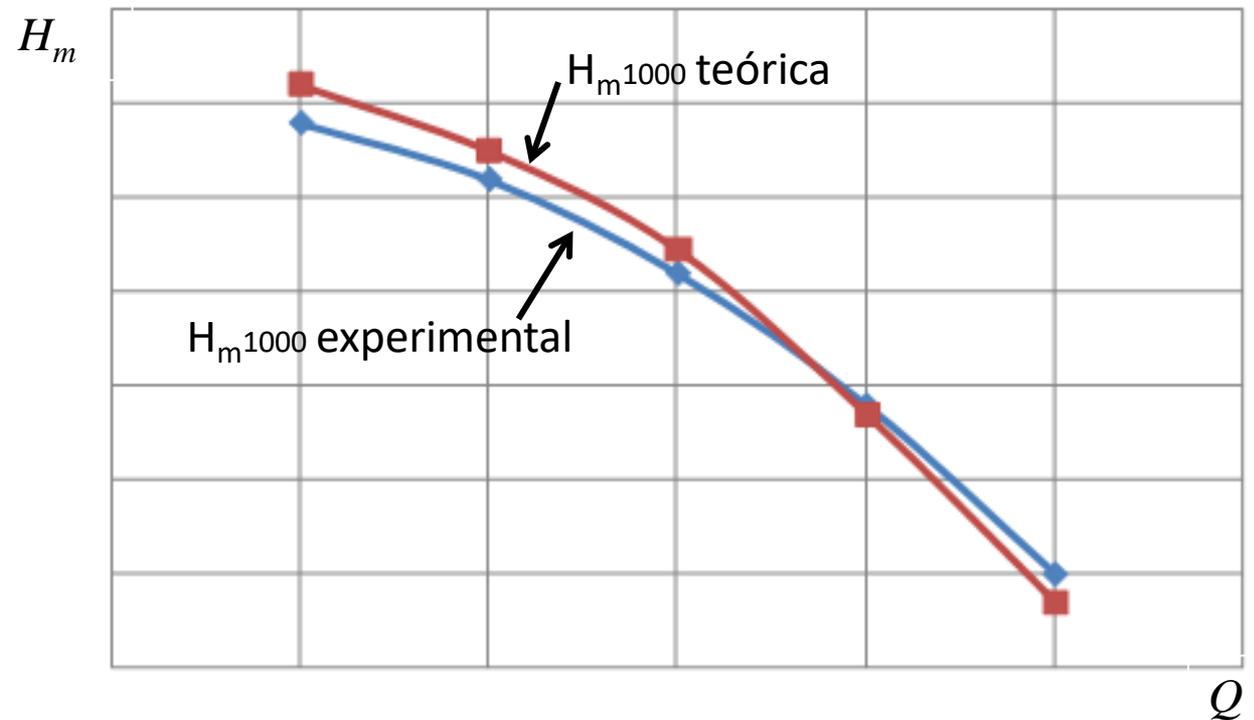
	PONTOS ESCOLHIDOS DA CURVA		PONTOS CALCULADOS TEÓRICAMENTE	
PONTOS	H_{m1200} (m)	Q_{1200} (l/s)	H_{m1000} (m)	Q_{1000} (l/s)
1				
2				
3				
4				

$$C_{E n_1} = C_{E n_2}$$

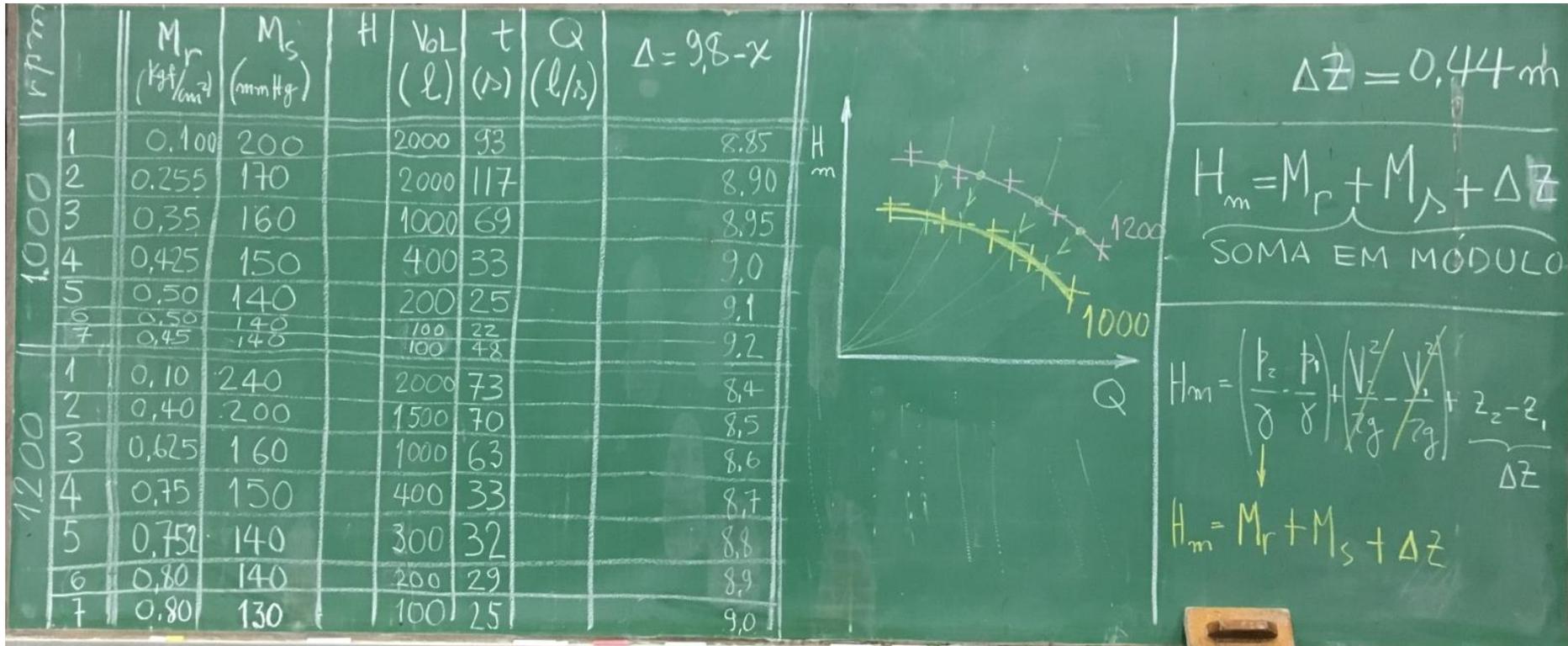
$$H_{m1} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \cdot H_{m2}$$

$$C_{Q n_1} = C_{Q n_2}$$

$$Q_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right) \cdot Q_2$$



- Faça o relatório usando os dados históricos abaixo apresentados:



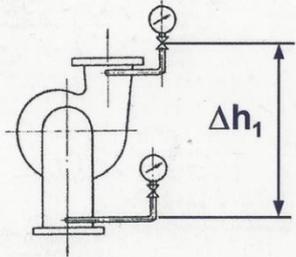
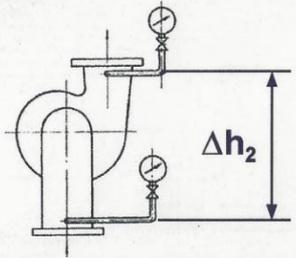
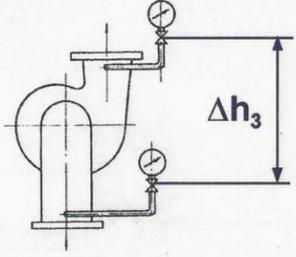
- **Apresente o Relatório com pelo menos os tópicos abaixo sugeridos:**
 - 1. Introdução ou Objetivos;**
 - 2. Resumo Teórico;**
 - 3. Esquema da Instalação (Foto ou Desenho);**
 - 4. Planilha com os valores anotados em laboratório (dados acima) e calculados;**
 - 5. Gráficos;**
 - 6. Comentários ou Conclusões.**

7. Observações:

- Procurar dispor os gráficos ao longo de toda a área de plotagem;
- Plotar os gráficos iniciando as escalas no (0,0) do sistema cartesiano;
- Buscar escalas adequadas nos eixos;
- Colocar Título do Gráfico;
- Colocar Títulos dos eixos com as escalas utilizadas;
- Colocar Legendas nas curvas;
- Colocar Linhas de grade em ambas as direções;

8. Anexos:

$$\Delta z = \Delta h$$

MANÔMETRO DE SUÇÃO (ENTRADA DA BOMBA)	MANÔMETRO DE RECALQUE (SAIDA DA BOMBA)	MEDIDA DO Δh A SER CONSIDERADA	ESQUEMA
ABAIXO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	ACIMA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	Δh_1	
ABAIXO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	ABAIXO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	Δh_2	
ACIMA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	ACIMA DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA	Δh_3	

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PME-3453 – MÁQUINAS DE FLUXO – LABORATÓRIO

EXPERIÊNCIA N° 4

VERIFICAÇÃO DAS LEIS DE SEMELHANÇA
PARA BOMBAS CENTRÍFUGAS RADIAIS

PROF. SÉRGIO ROBERTO CECCATO

ALUNO : _____ TURMA: _____

N° USP : _____

DATA : _____

VISTO : _____

DADOS EXPERIMENTAIS

n rpm	PONTOS	M_r		M_s		Δz m	H_m m	Vol. L	Tempo s	Q L/s
		(*)	m	(*)	m					
$n_1=1000$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									
$n_2=1200$	1									
	2									
	3									
	4									
	5									
	6									
	7									
	8									

(*) Verificar as unidades de medida de pressão dos manômetros

DADOS COMPLEMENTARES:
