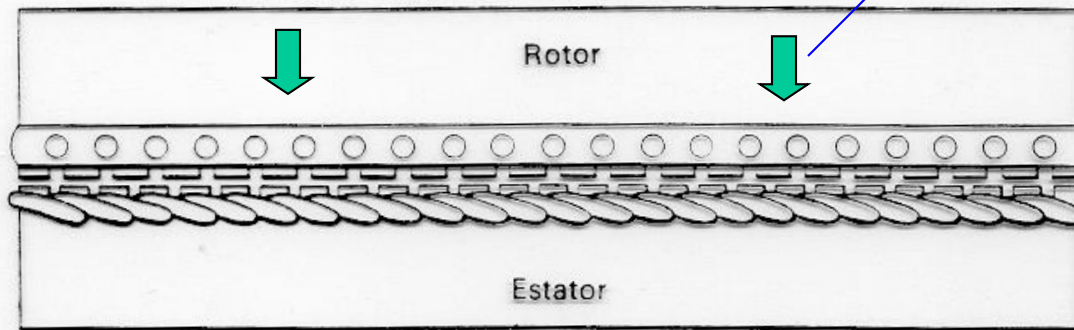


a) Máquina cilíndrica

CONCEPÇÃO BÁSICA DO MOTOR LINEAR :

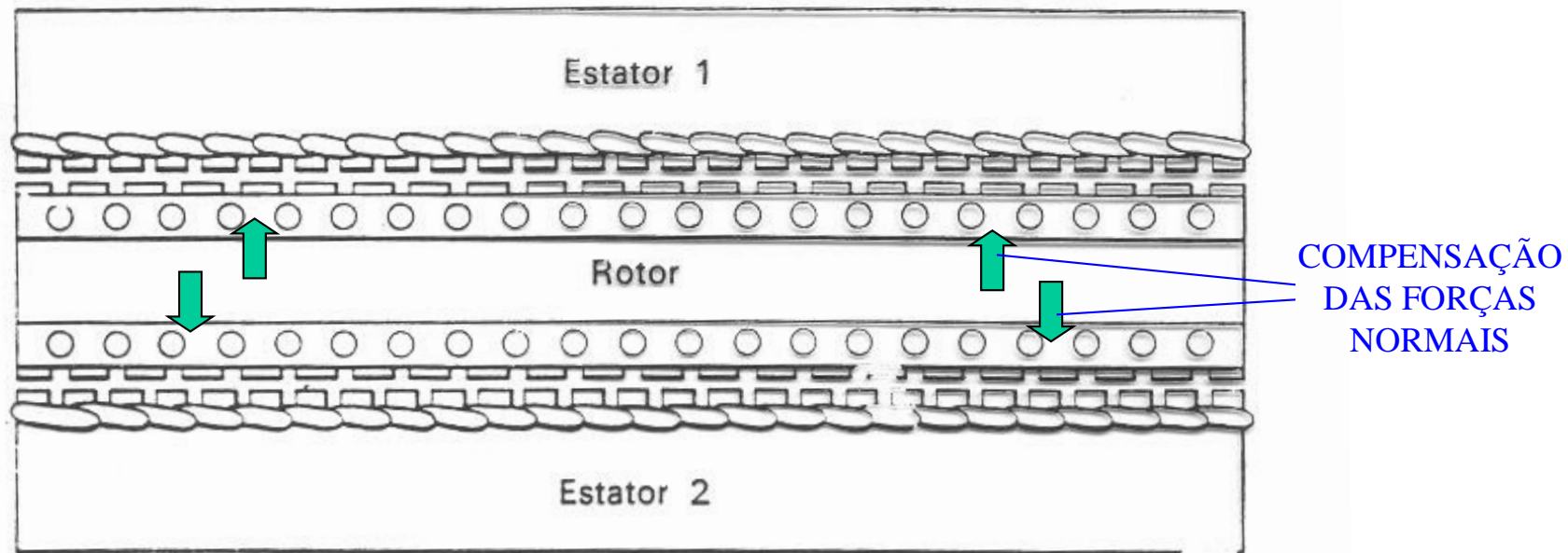
PLANIFICAÇÃO DO MOTOR ROTATIVO CONVENCIONAL

FORÇAS NORMAIS DE RELUTÂNCIA



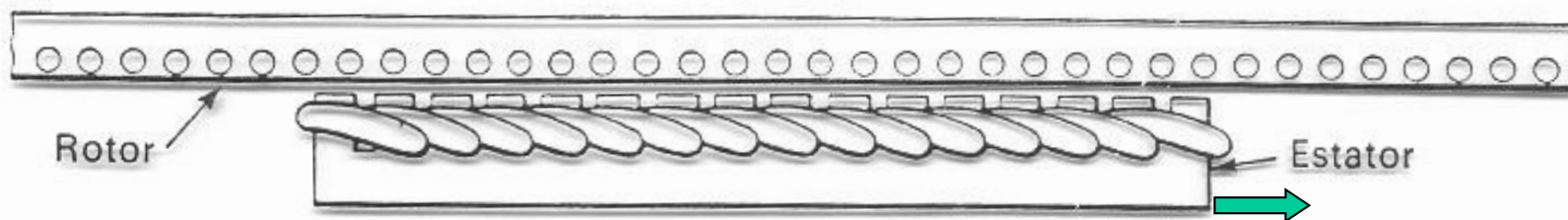
b) Máquina lineal primitiva

MOTOR LINEAR DE PRIMÁRIO SIMPLES

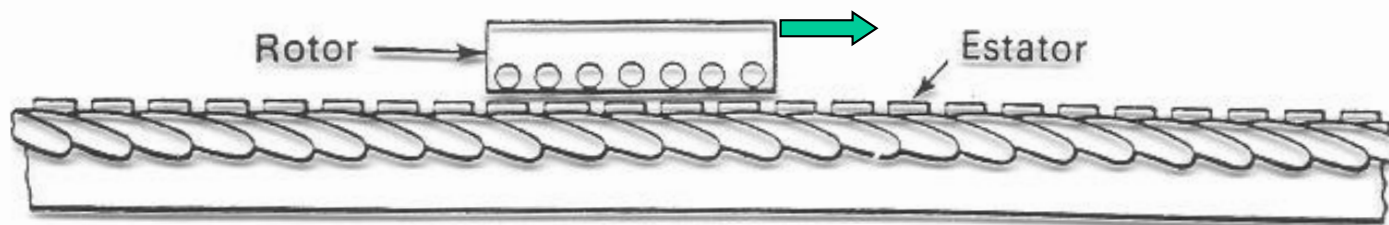


c) Máquina lineal de doble estator.

MOTOR LINEAR DE PRIMÁRIO DUPLO

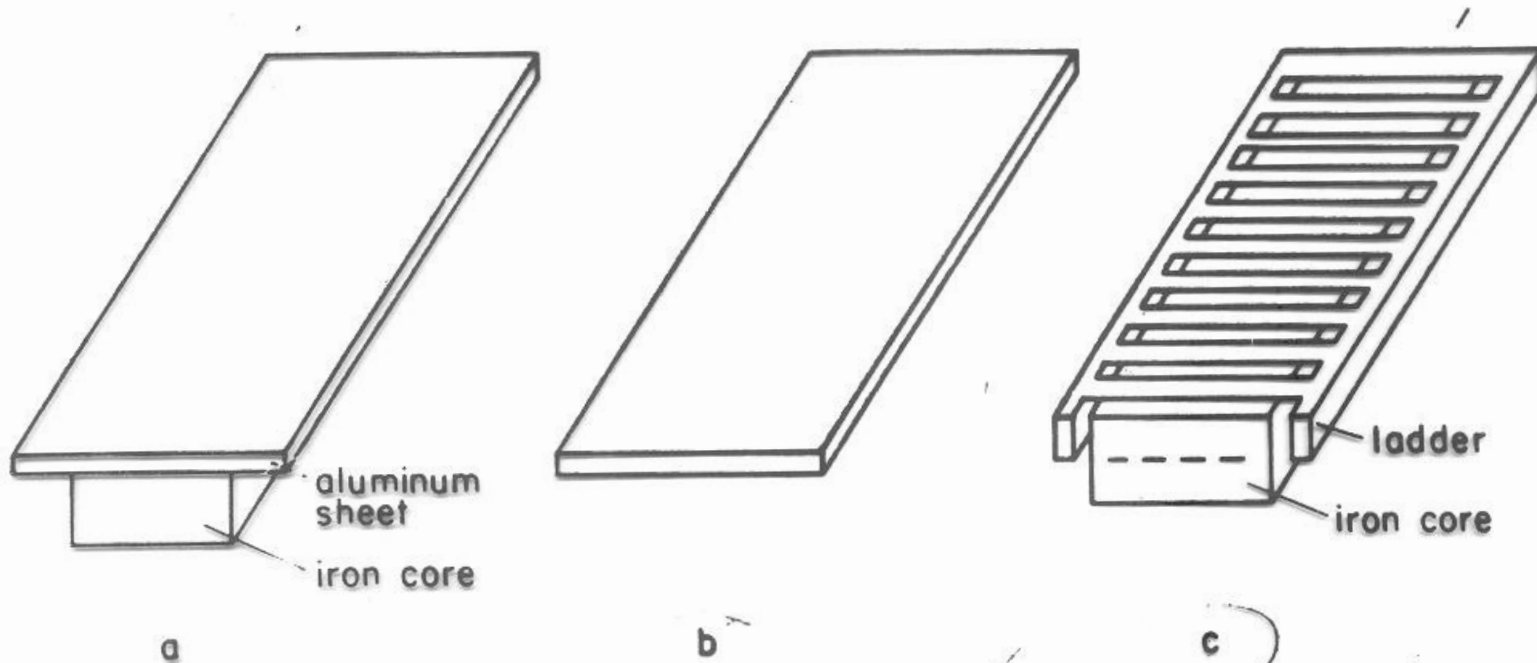


a) Máquina de estator acortado



b) Máquina de rotor acortado

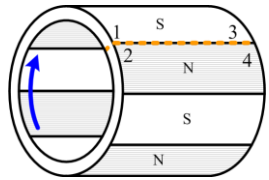
MOTOR LINEAR DE PRIMÁRIO CURTO E PRIMÁRIO LONGO



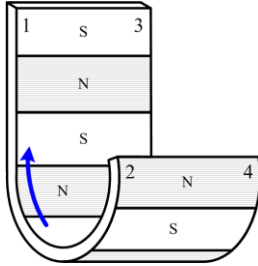
LIM secondary (a) aluminum sheet on iron; (b) aluminum sheet; (c) ladder.

VARIANTES DE CONSTRUÇÃO DO SECUNDÁRIO DO MOTOR LINEAR DE INDUÇÃO

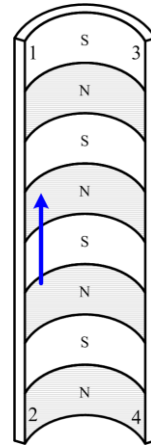
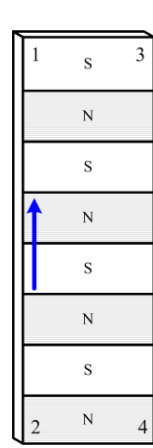
CONCEPÇÃO CONSTRUTIVA DO MOTOR LINEAR TUBULAR



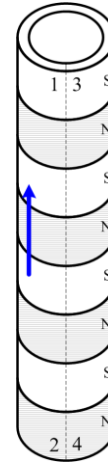
Motor rotativo



Motor linear



Motor tubular



SECUNDÁRIO:
TUBO METÁLICO COM CAPA
CONDUTORA CONTÍNUA OU
SEGMENTADA

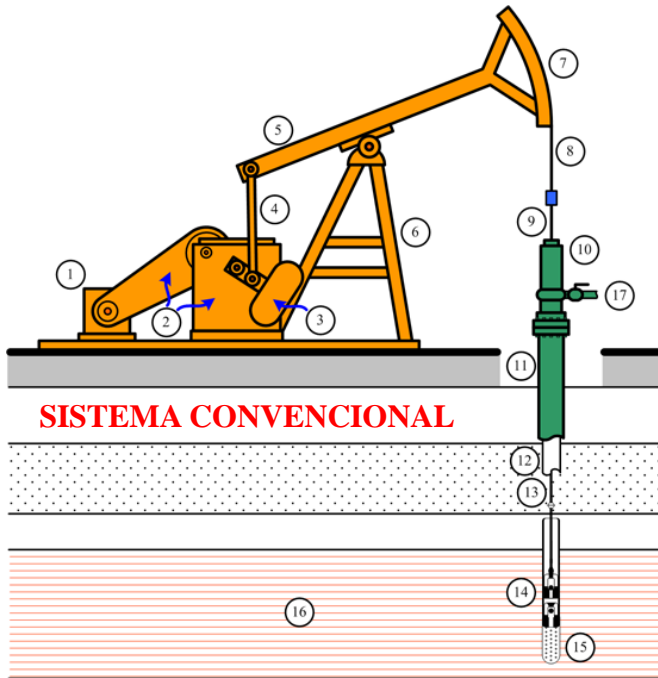
OPERAÇÃO USUAL COM
MOVIMENTO ALTERNATIVO DO
SECUNDÁRIO POR REVERSÃO
DO CAMPO DO ESTATOR

OBTENÇÃO DO ESTATOR OU PRIMÁRIO



MOTOR TUBULAR APLICADO NO ACIONAMENTO DE BOMBA ALTERNATIVA

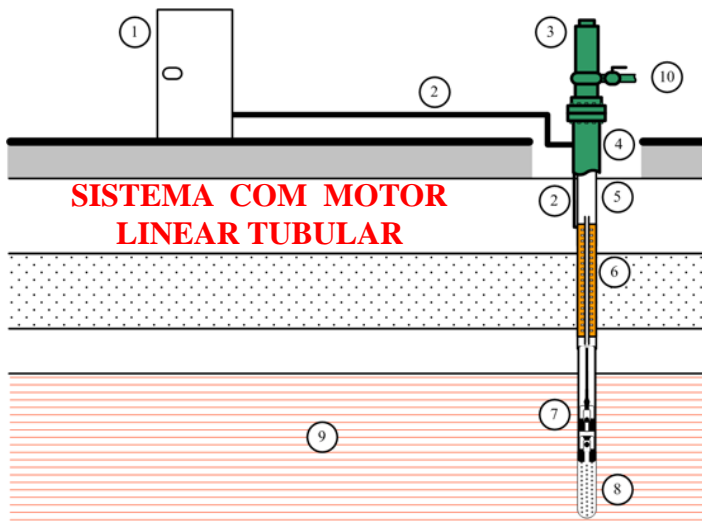
MOTOR LINEAR TUBULAR APLICADO NA EXTRAÇÃO DE PETRÓLEO - PROJETO MATÆOS



SISTEMA CONVENCIONAL

Legenda:

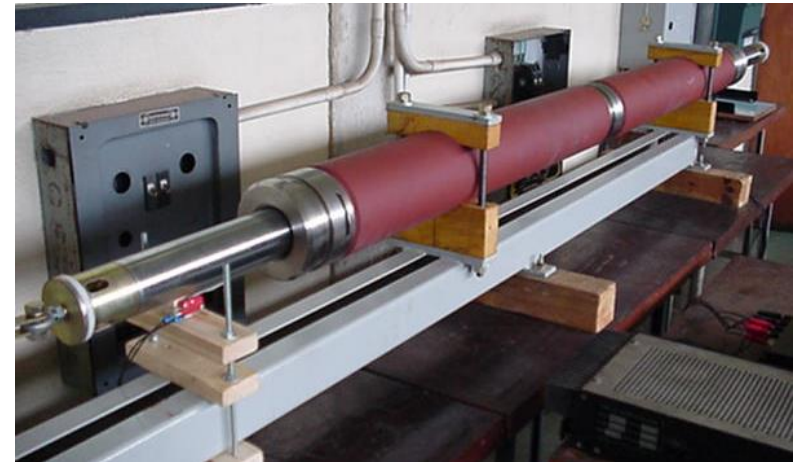
- (1) Motor
- (2) Correia de transmissão e caixa de redução
- (3) Contrapeso
- (4) Barra de transmissão
- (5) Balancim
- (6) Barra de sustentação
- (7) "Cabeça-de-cavalo"
- (8) Cabo
- (9) Haste polida
- (10) Caixa de vedação
- (11) Tubulação de revestimento
- (12) Tubulação de produção
- (13) Conjunto de hastes
- (14) Bomba
- (15) Filtro
- (16) Reservatório
- (17) Saída de petróleo



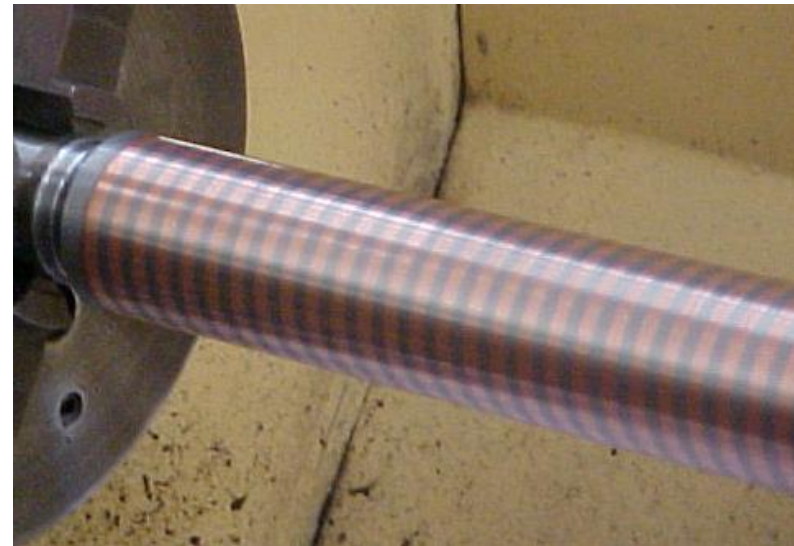
SISTEMA COM MOTOR LINEAR TUBULAR

Legenda:

- (1) Quadro de controle
- (2) Cabo elétrico
- (3) Caixa de vedação
- (4) Tubulação de revestimento
- (5) Tubulação de produção
- (6) Motor tubular
- (7) Bomba
- (8) Filtro
- (9) Reservatório
- (10) Saída de petróleo

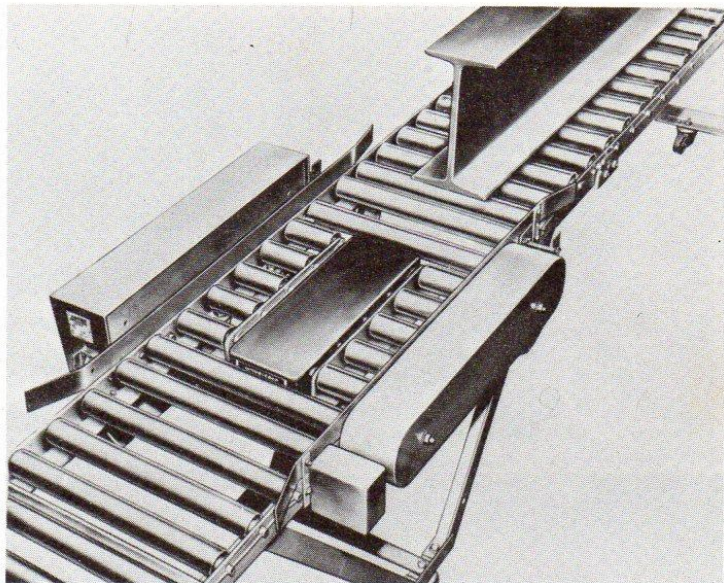


**1º PROTÓTIPO DO MATÆOS
- EPUSP / FAPESP - 2004**

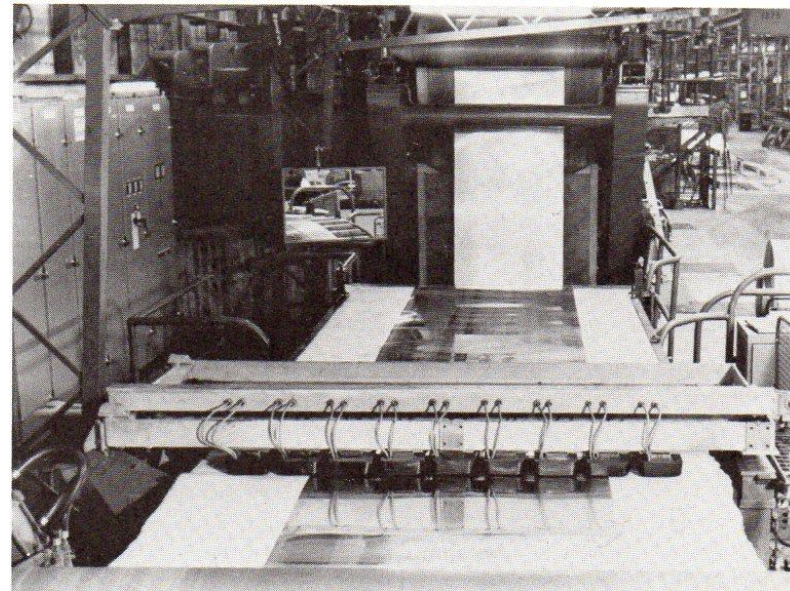


DETALHE DO SECUNDÁRIO: CONSTRUÇÃO EM "GAIOLA ANELAR"

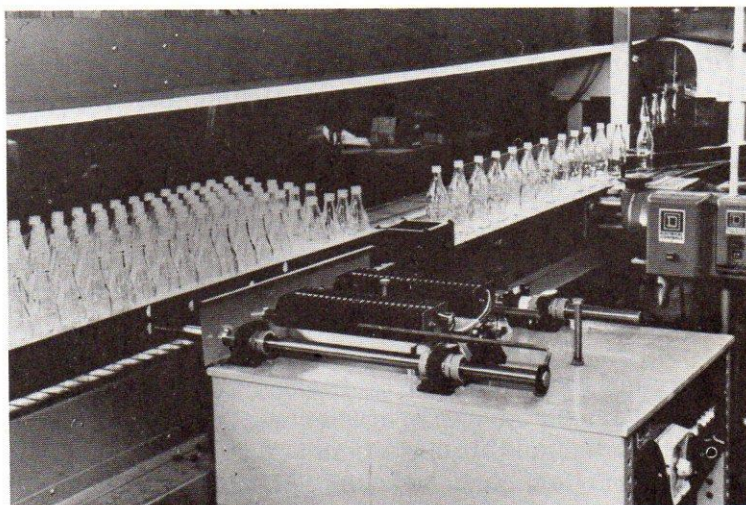
ALGUMAS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS



(*) MOVIMENTAÇÃO DE PERFIS METÁLICOS SOBRE MESA DE ROLOS



(*) ESTIRAMENTO DE FOLHAS FINAS DE ALUMÍNIO PRÉ BOBINAMENTO



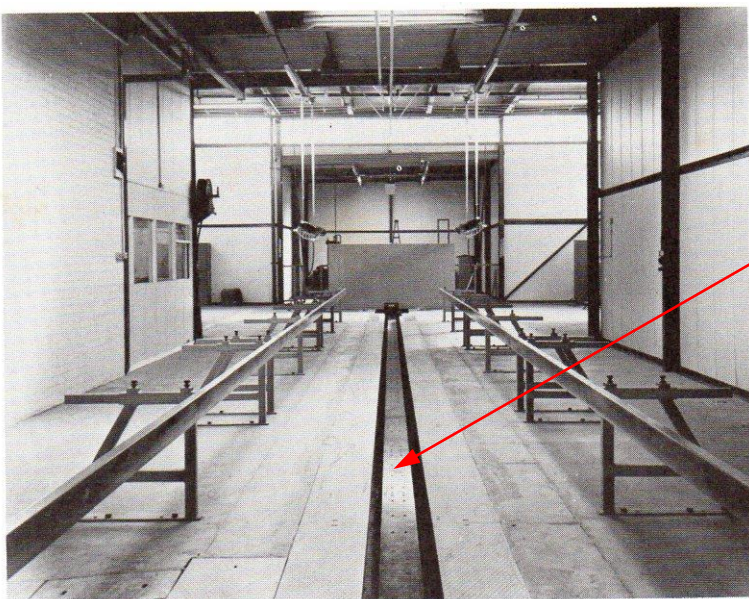
**MOTOR LINEAR TUBULAR
FUNÇÃO SIMILAR À DE
CILÍNDRIO PNEUMÁTICO
OU HIDRÁULICO**

**(*) MOTORES LINEARES DE
INDUÇÃO QUE UTILIZAM
COMO SECUNDÁRIO O
PRÓPRIO MATERIAL
MANIPULADO**

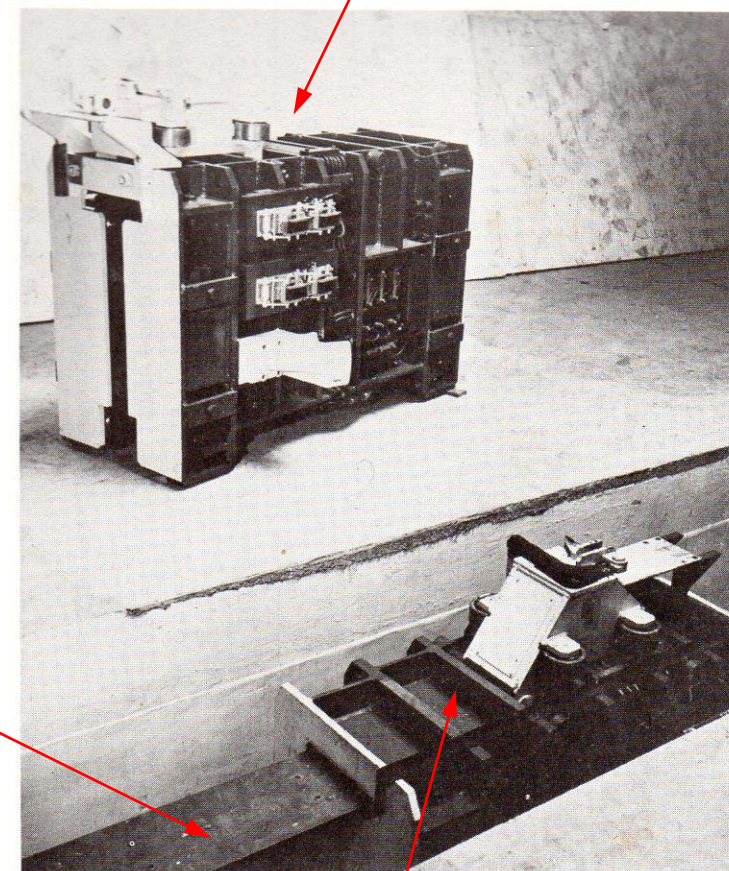
ALGUMAS APLICAÇÕES DE ELEVADA ENERGIA



IMPULSO DE VEÍCULO PARA TESTE
DE “CAR CRASH”



TRILHO DE AÇO
COMO
SECUNDÁRIO DO
MOTOR LINEAR

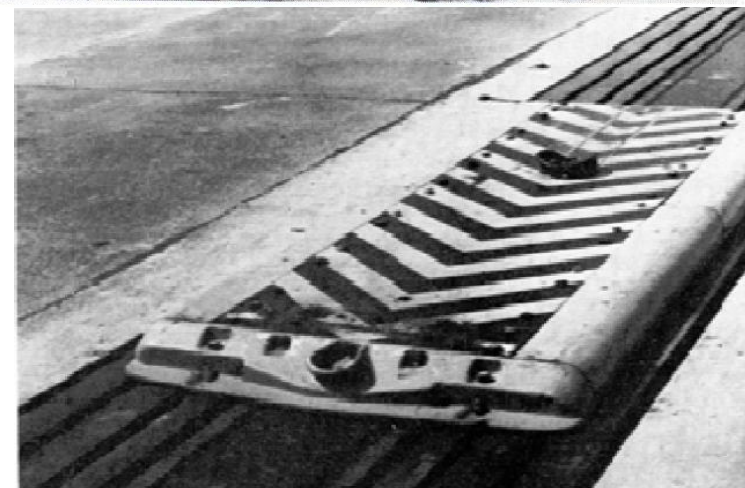
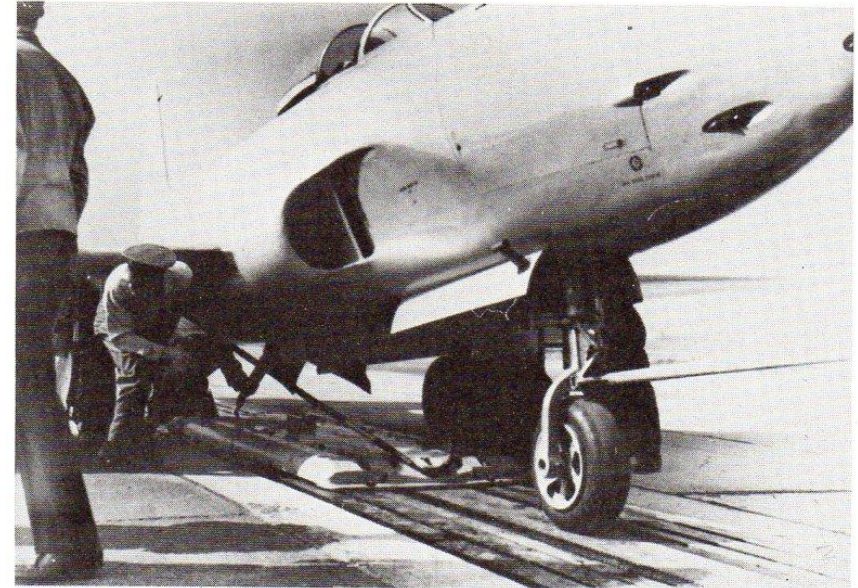


ESTATOR DE PRIMÁRIO DUPLO

ESTATOR MONTADO SOBRE O TRILHO

PRIMEIRA PROPOSTA DE USO DO MOTOR LINEAR (DE INDUÇÃO) DE ELEVADA POTÊNCIA PARA PROPULSÃO INICIAL DE AERONAVES

“ELECTROPULT” – CATAPULTA ELETROMAGNÉTICA - DESENVOLVIMENTO DA WESTINGHOUSE PARA A MARINHA NORTE AMERICANA (FINAL DA DÉCADA DE 1940)



COMPRIMENTO TOTAL DO SECUNDÁRIO: 414 m

**SECUNDÁRIO EM GAIOLA, COM RESISTÊNCIA
PROGRESSIVAMENTE DECRESCENTE**

**POTÊNCIA DE PICO: 10 MW
CAPACIDADE DE ACELERAÇÃO:**

MASSA : 5 ton. - VELOCIDADE: 0 A 180 km/h

TEMPO: 4,1 s - PERCURSO: 100 m

CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES LINEARES → FORTE “VOCAÇÃO” PARA O USO EM TRACÇÃO ELÉTRICA
→ MOTIVOU OS PRINCIPAIS DESENVOLVIMENTOS A PARTIR DOS ANOS 1970 ATÉ HOJE

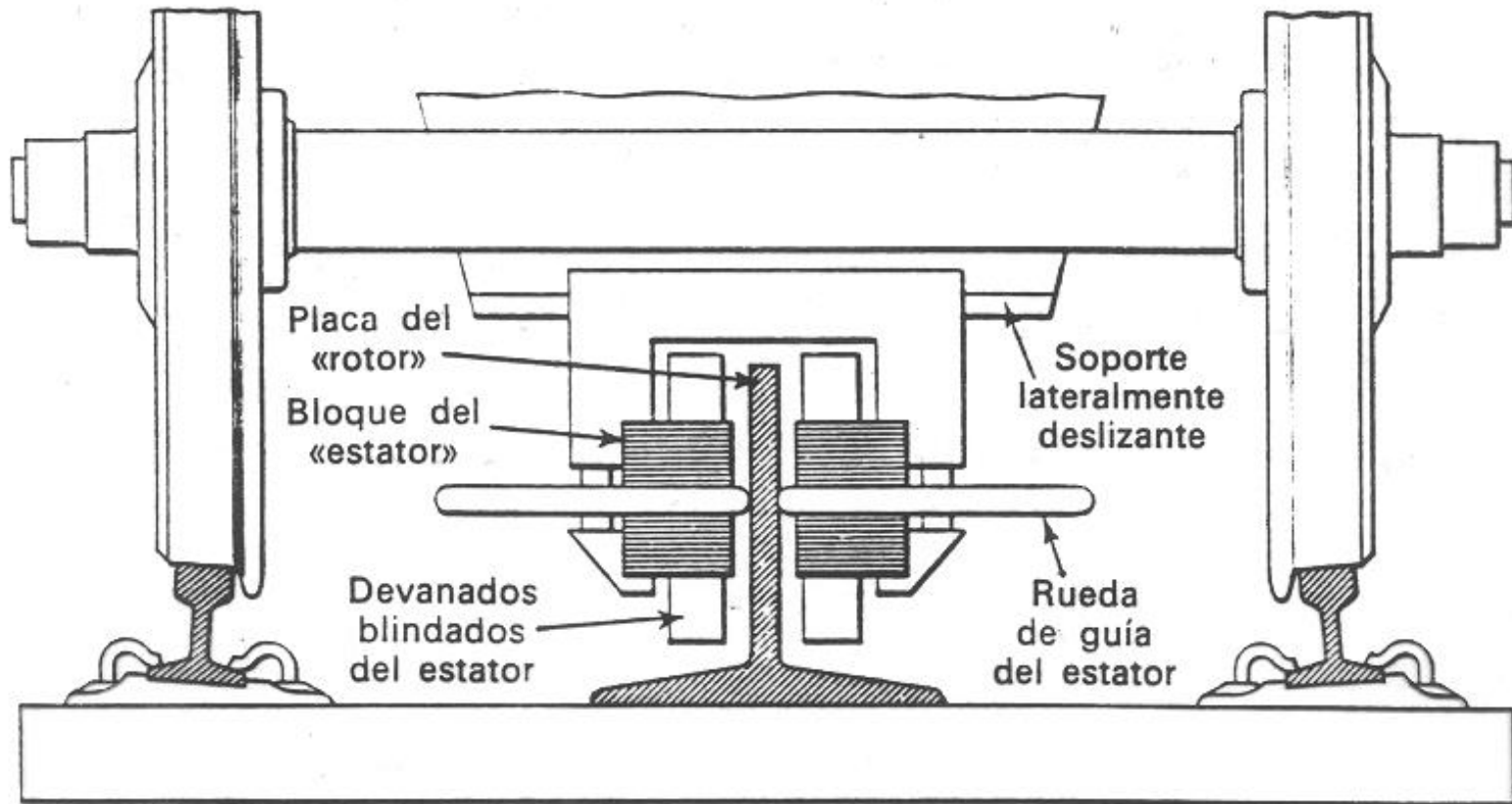


Fig. 6.8. Disposición de un motor lineal para tracción sobre raíles.

ALOJAMENTO DE MOTOR LINEAR NO VEÍCULO DE TRACÇÃO

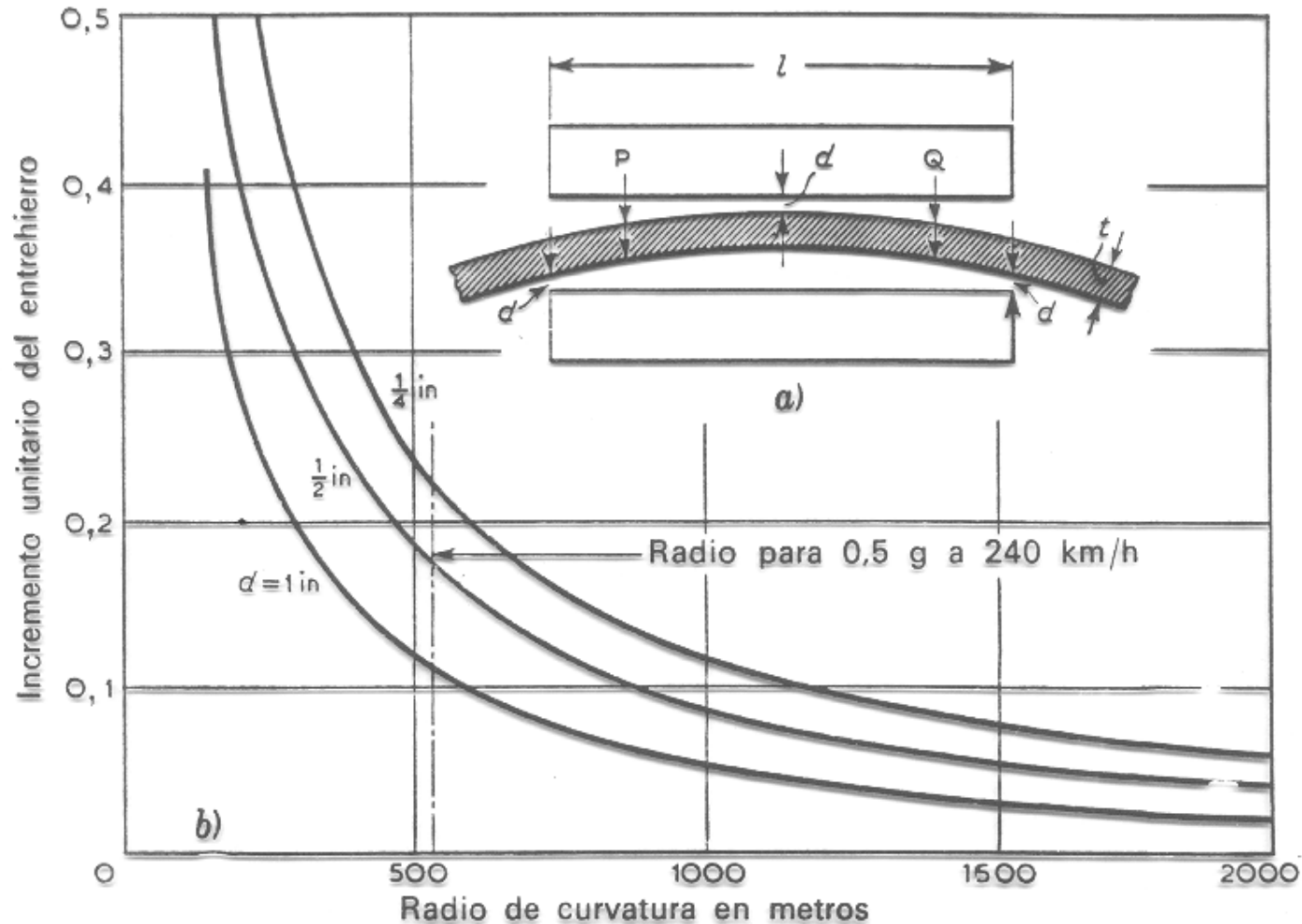
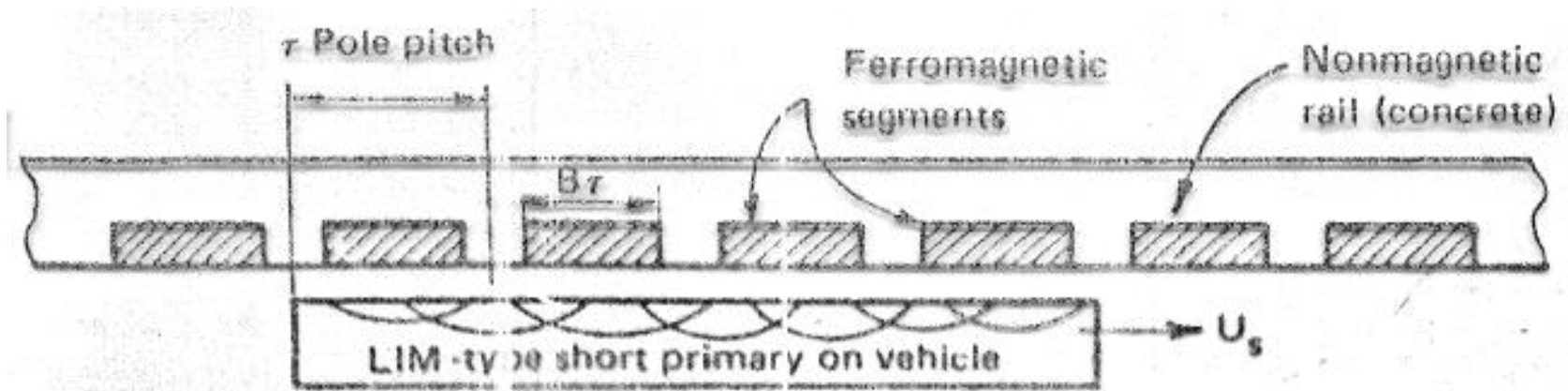


Fig. 6.9. Efecto de la curvatura de la placa del rotor.

INCREMENTO NO ENTREFERRO PARA PERMITIR REALIZAÇÃO DE CURVAS

**MOTOR LINEAR SÍNCRONO DE RELUTÂNCIA – PRIMÁRIO MÓVEL**

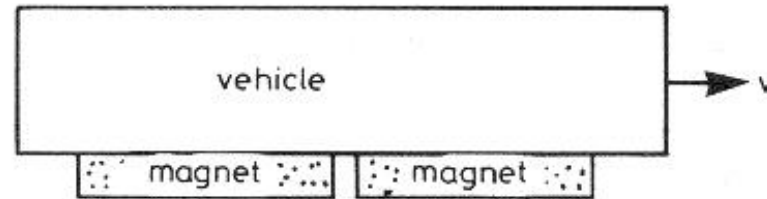
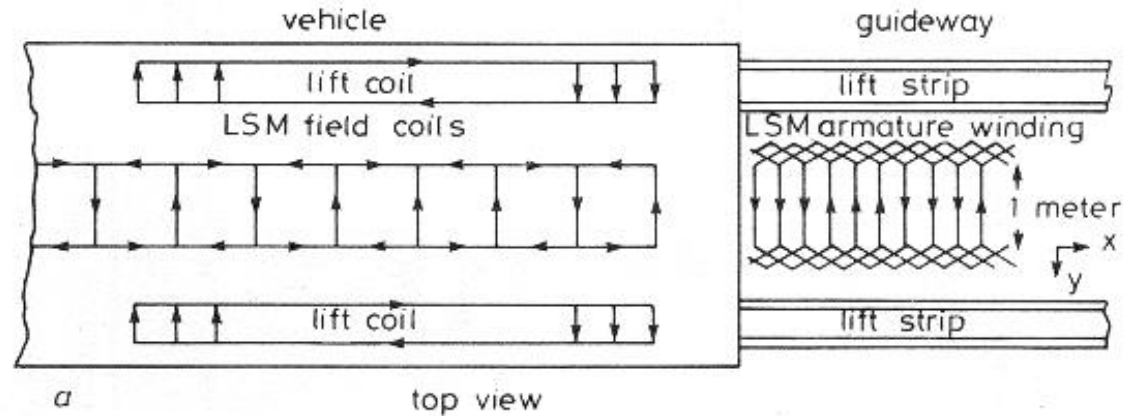
MOTOR LINEAR SÍNCRONO

PRIMÁRIO NA VIA

INDUTOR MÓVEL, DE IMÃS

PERMANENTES OU

EXCITADO



MOTOR LINEAR SÍNCRONO

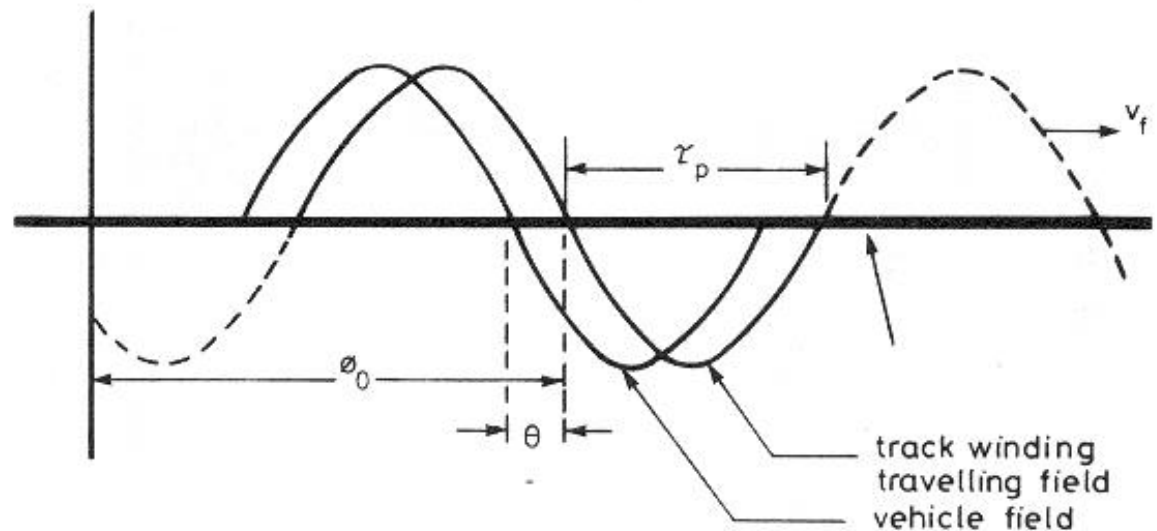
INTERAÇÃO DAS ONDAS DE

CAMPO MAGNÉTICO

MÓVEL DA VIA COM A

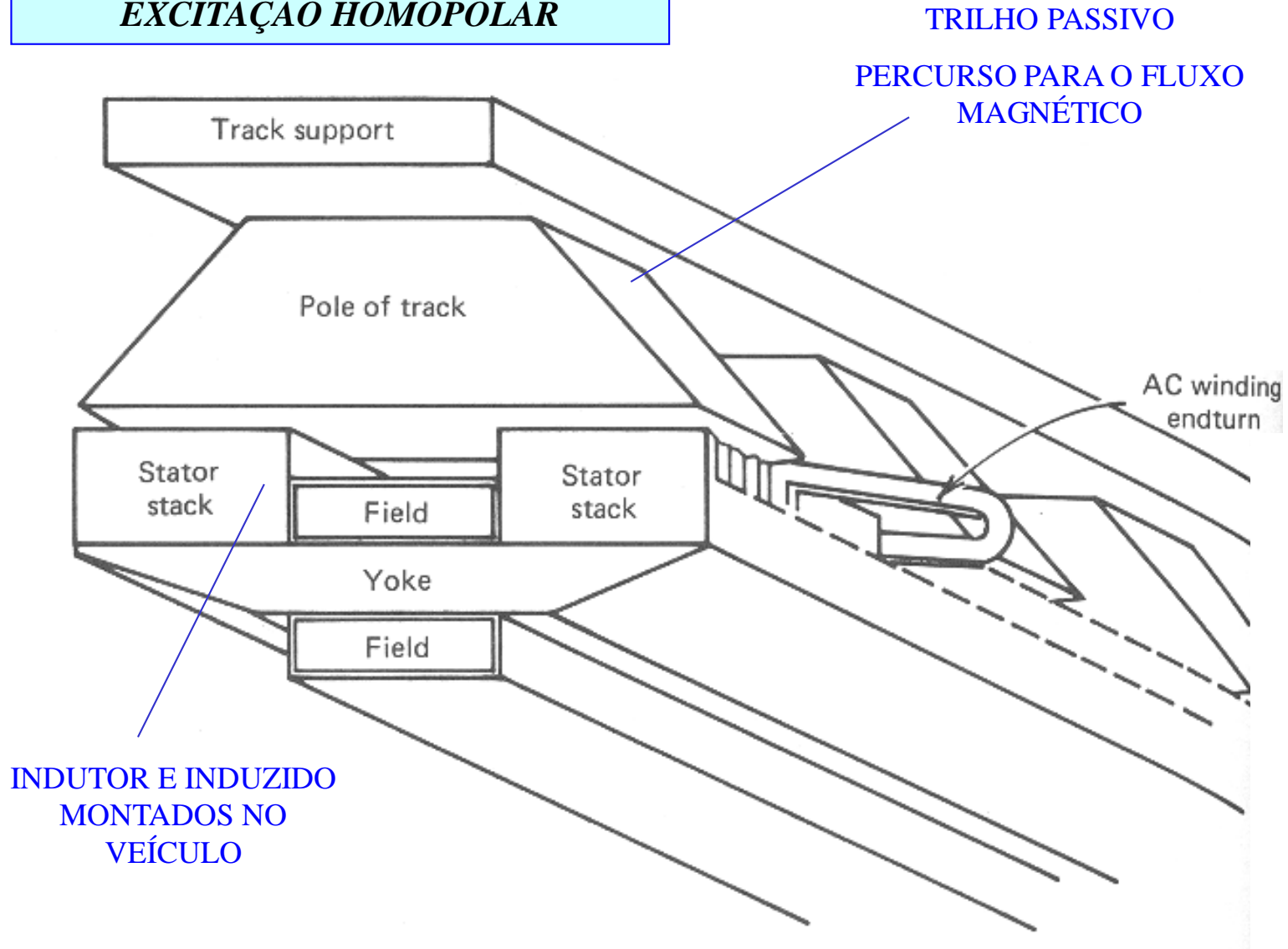
DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO

SOLIDÁRIA AO VEÍCULO



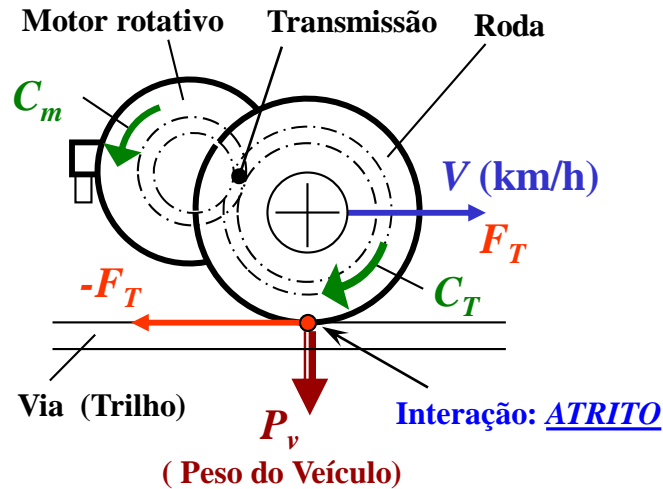
b

**MOTOR LINEAR SÍNCRONO DE
EXCITAÇÃO HOMOPOLAR**

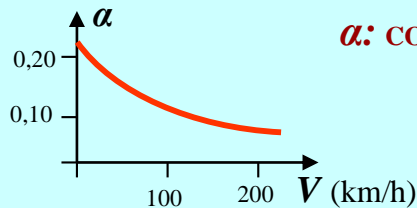


ASPECTOS GERAIS DOS MOTORES LINEARES APLICADOS EM TRANSPORTE

TRAÇÃO POR MOTOR CONVENCIONAL



→ CARACTERÍSTICA FUNDAMENTAL : $F_T = \alpha \cdot P_v$



α : COEFICIENTE DE ADERÊNCIA

$$\alpha = \frac{0,22}{1 + 0,01 \cdot V}$$

→ LIMITAÇÕES DEVIDO À ADERÊNCIA:

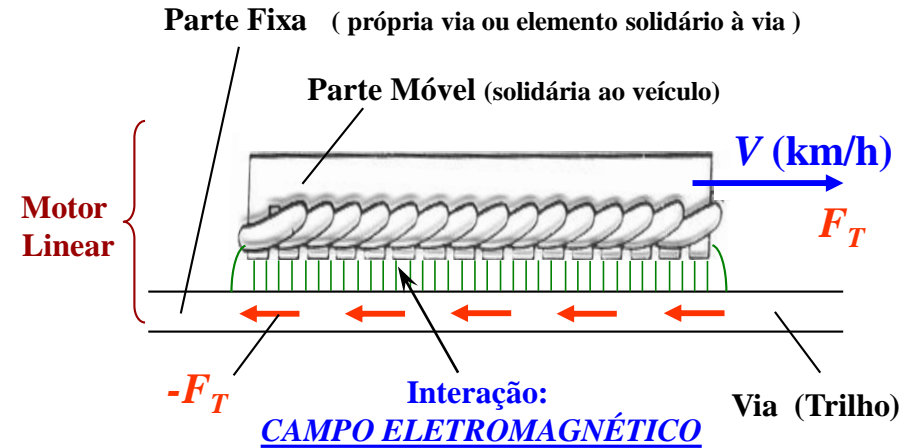
PODER DE RAMPA - VELOCIDADE MÁXIMA

→ PARA ALTAS VELOCIDADES ($V > 250$ (km/h)):

LIMITAÇÕES MECÂNICAS NO MOTOR ROTATIVO
(VELOCIDADE PERIFÉRICA DO ROTOR)

PROBLEMAS MECÂNICOS NO SISTEMA RODA-TRILHO

TRAÇÃO POR MOTOR LINEAR



→ CARACTERÍSTICA FUNDAMENTAL:

F_T É APLICADA DIRETAMENTE À VIA POR INTERAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

DISPENSA O SISTEMA DE TRANSMISSÃO

→ F_T INDEPENDE DO PESO DO VEÍCULO

A VELOCIDADE MÁXIMA E O PODER DE RAMPA SÓ DEPENDEM DA POTÊNCIA DISPONÍVEL NO MOTOR

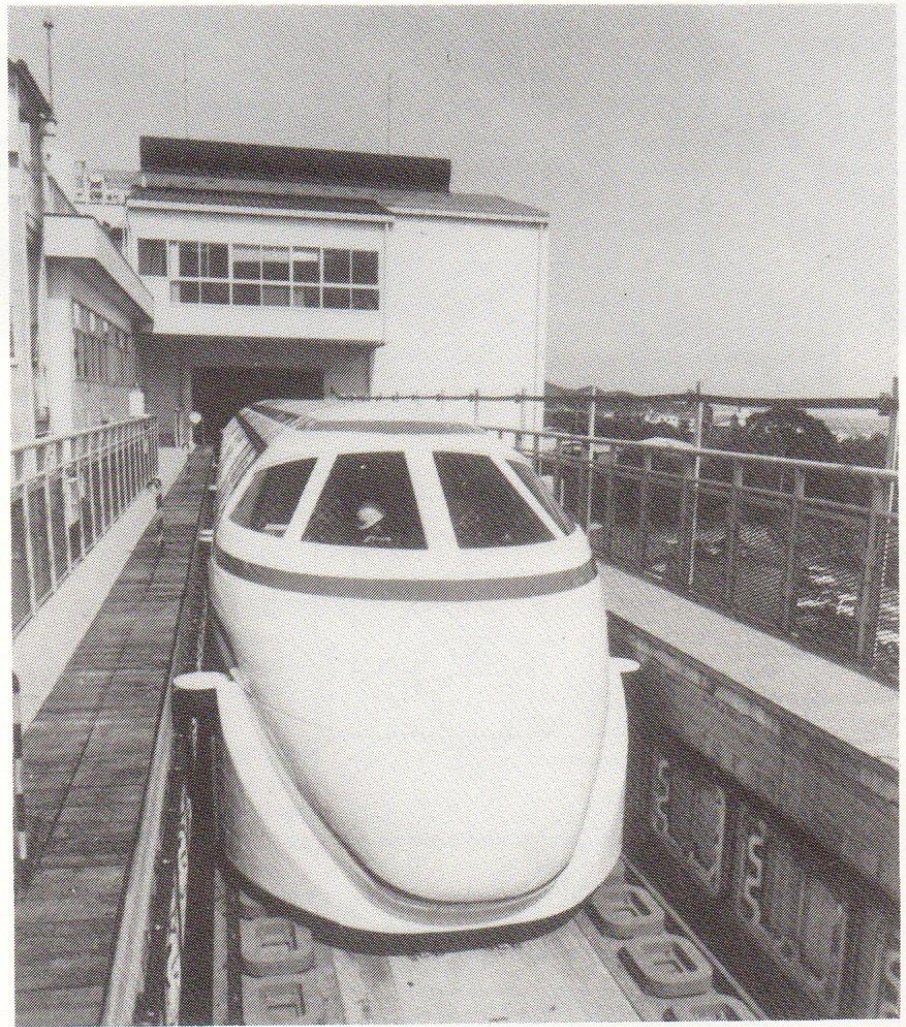
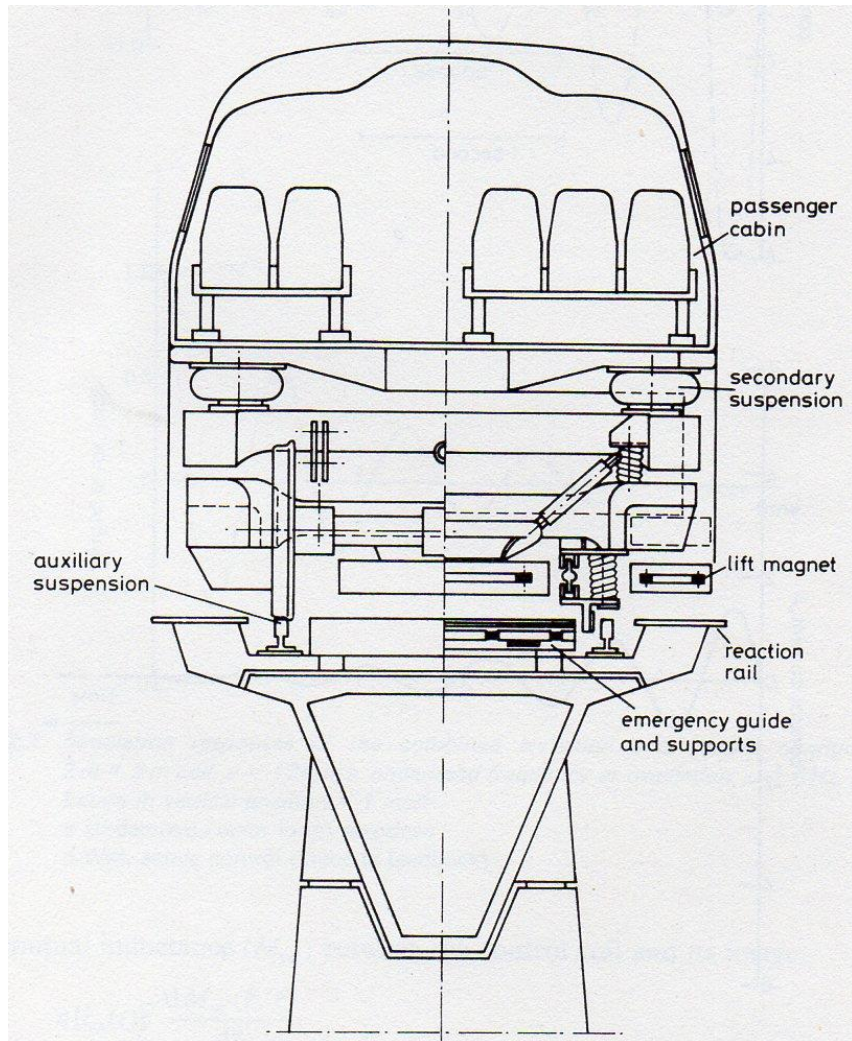
→ NÃO TEM PEÇAS MÓVEIS

VEÍCULO PODE SER O MAIS LEVE POSSÍVEL PERMITINDO AUMENTO NA CARGA ÚTIL TRANSPORTADA

CARACTERÍSTICAS COMPARATIVAS ENTRE DIFERENTES TIPOS DE MOTORES LINEARES PARA TRACÇÃO

CARACTERÍSTICA (TOTAL DO VEÍCULO)	MOTOR SÍNCRONO HOMOPOLAR		MOTOR SÍNCRONO DE RELUTÂNCIA		MOTOR DE INDUÇÃO	
	BAIXA VELOCIDADE	ALTA VELOCIDADE	BAIXA VELOCIDADE	ALTA VELOCIDADE	BAIXA VELOCIDADE	ALTA VELOCIDADE
VELOCIDADE (km/h)	45	400	45	400	45	400
FORÇA DE TRACÇÃO (kg.f)	448	3.570	448	3.570	448	3.570
FATOR DE POTÊNCIA (p.u.)	0,95	0,95	0,23	0,28	0,70	0,52
RENDIMENTO (%)	0,83	0,93	0,80	0,94	0,60	0,82
FREQÜÊNCIA MÁXIMA (Hz)	133	200	50	140	62,5	200
ALIMENTAÇÃO (kVA)	66	4.400	284	14.800	175	9.100
POTÊNCIA EXCITAÇÃO (kW)	8,8	100	-	-	-	-
PESO DOS MOTORES (kg)	620	6.750	540	5.600	450	4.550
PESO DO VEÍCULO (ton.)	-	32	-	45	-	40
PESO DE FERRO – VIA (ton./km)	32,6	178	29	39	31,5	51,4
PESO ALUMÍNIO (ton./km)	-	-	-	-	3,6	3,4

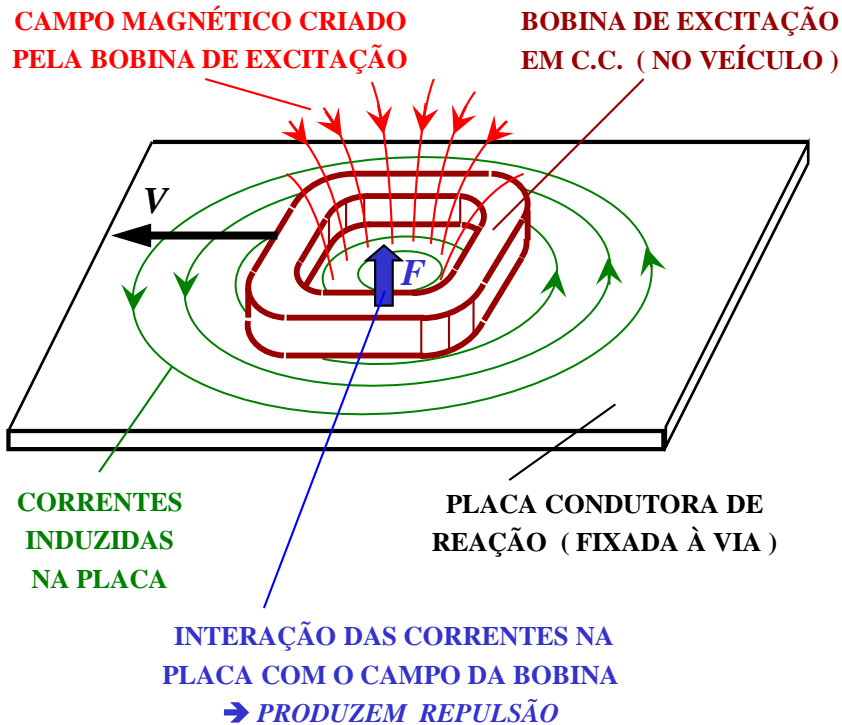
AUSÊNCIA DE CONTATO NA PROPULSÃO POR MOTOR LINEAR → MOTIVAÇÃO PARA O USO DE SISTEMAS DE SUSPENSÃO QUE TAMBÉM DISPENSEM O CONTATO RODA TRILHO
→ SUSPENSÃO OU LEVITAÇÃO MAGNÉTICA DO VEÍCULO



SISTEMAS DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA PARA USO EM TRAÇÃO

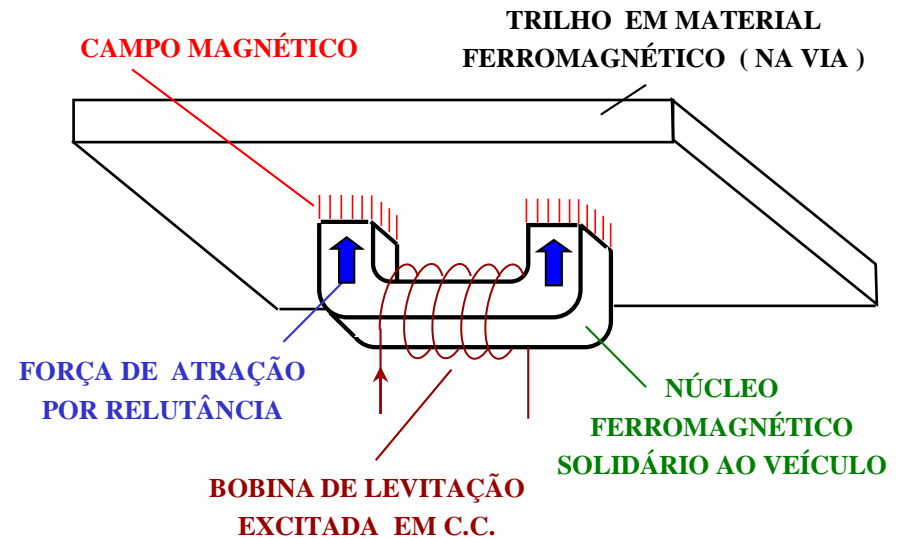
CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE SISTEMA COM LEVITAÇÃO ELETRODINÂMICA (POR REPULSÃO)

PRINCÍPIO:



CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE SISTEMA COM LEVITAÇÃO ELETROMAGNÉTICA (POR ATRAÇÃO)

PRINCÍPIO:



CARACTERÍSTICAS DE CADA TIPO DE LEVITAÇÃO

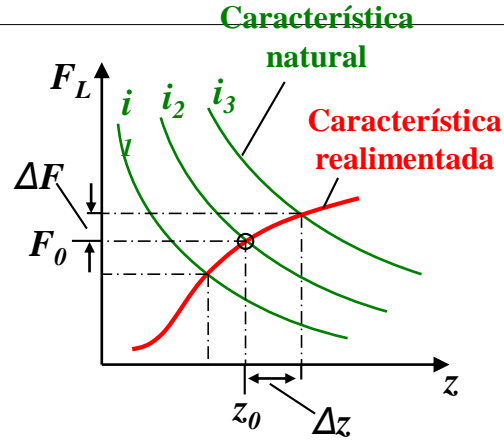
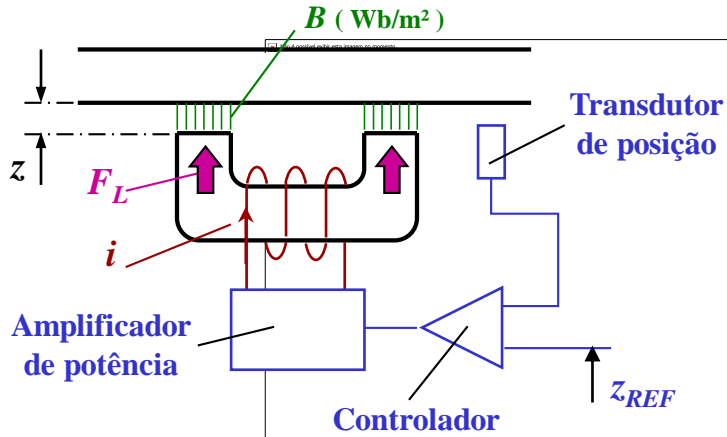
ELETRODINÂMICA

- FORÇA DE LEVITAÇÃO SÓ EXISTE EM VELOCIDADE
- NATURALMENTE ESTÁVEL – CONTROLE USADO PARA REGULAR O AMORTECIMENTO
- GRANDES ENTREFERROS – 10 A 25 cm
- CONSUMO: 10 A 30 kW / ton – BOBINAS SUPERCONDUTORAS CRIOGÊNICAS
- PESO DO TRILHO (ALUMÍNIO) : 50 A 150 kg / m
- VELOCIDADE CRÍTICA DE APROX. 80 km / h – MÍNIMA VELOCIDADE ONDE SE INICIA A LEVITAÇÃO
- USADO PARA VELOCIDADES ALTAS > 300 km / h

ELETROMAGNÉTICA

- FORÇA DE LEVITAÇÃO COM VELOCIDADE NULA
- NATURALMENTE INSTÁVEL – CONTROLE COM REALIMENTAÇÃO DO ENTREFERRO É OBRIGATÓRIO
- ENTREFERROS LIMITADOS – 1 A 3 cm
- CONSUMO: 1 A 3 kW / ton – BOBINAS CONVENCIONAIS
- PESO DO TRILHO (AÇO) : 50 A 100 kg / m
- VELOCIDADE MÁXIMA LIMITADA PELAS CORRENTES PARASITAS INDUZIDAS NO TRILHO
- USADO PARA BAIXAS VELOCIDADES - 50 A 100 km / h
- PARA ALTAS VELOCIDADES, ATÉ 250 / 300 km / h COM CUIDADOS ADICIONAIS NO TRILHO

PARTICULARIDADES DA LEVITAÇÃO ELETROMAGNÉTICA



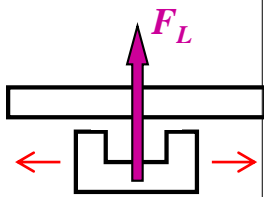
Para corrente estacionária e energia armazenada apenas no entreferro:

$$F_L = \frac{dW_{mag}(z)}{dz}$$

$$F_L = \frac{B^2}{2 \cdot \mu_0} \cdot S$$

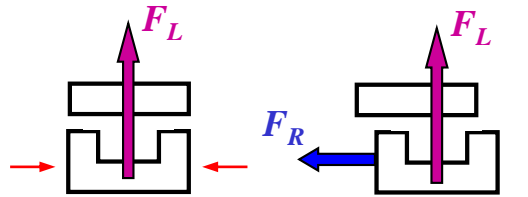
$$B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{z}$$

POSICIONAMENTO LATERAL DO VEÍCULO COM LEVITAÇÃO ELETROMAGNÉTICA:



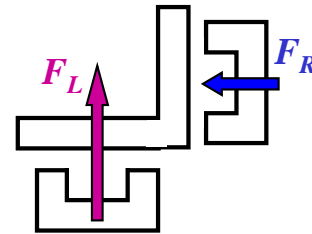
Sistema lateralmente livre

Exclusivamente força de levitação



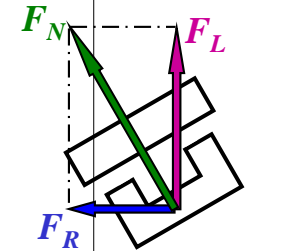
Sistema lateralmente restrito

Força lateral de restauração com geometria adequada do trilho



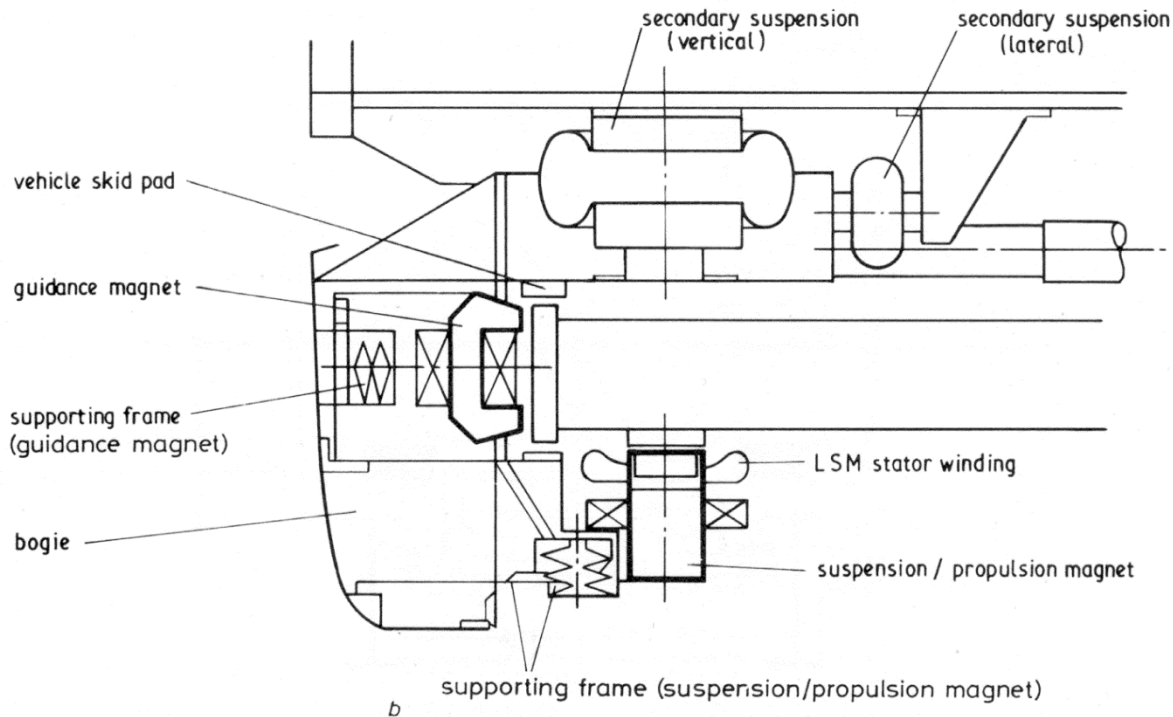
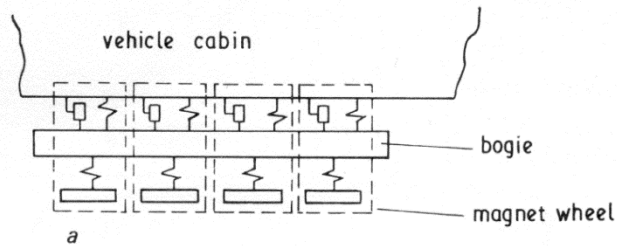
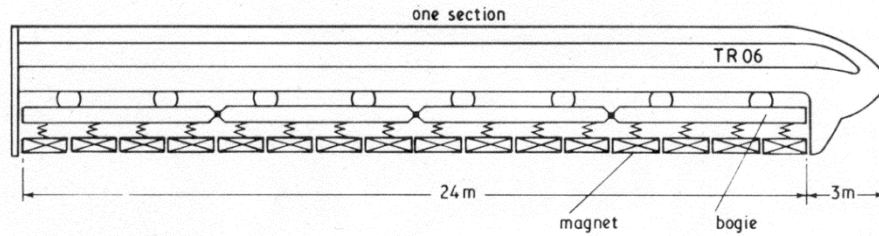
Posicionamento lateral com 2 eletromagnetos

2 conjuntos idênticos, 1 de cada lado do veículo



1 eletromagneto com 2 componentes de força

2 conjuntos idênticos, 1 de cada lado do veículo



TRANSRAPID

LEVITAÇÃO POR ATRAÇÃO

ENTREFERRO = 8MM

PESO POR MAGNETO:

LEVITAÇÃO = 330 kg

DESLOC. LATERAL = 270 kg

CONSUMO = 1 kW/ ton.

PESO DO SISTEMA DE
SUSPENSÃO = 32 ton.

*ELETROMAGNETOS DE
POSICIONAMENTO LATERAL*

*ELETROMAGNETOS
DE LEVITAÇÃO*

TRANSRAPID

LEVITAÇÃO POR ATRAÇÃO

VISTA GERAL DO SISTEMA DE
LEVITAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

