11. GAIA: UHAL BIDEZKO TRANSMISIOA

1. SARRERA

Uhalak elementu malguak dira, distantzia luze samarretan kokatutako ardatzen artean potentzia transmititzeko erabiltzen direnak. Ikasmaterial honetan aztertzen ez diren kable eta kateak uhalen antzeko elementuak dira.

Uhalen ezaugarri nagusiak hauek dira:

a) oso ardatz bereiziak konekta ditzakete, eta hori ezin da lortu horzdun gurpil pare batekin, haien tamaina handiegia izango litzatekelako.

b) transmisio-elementu isilak, merkeak, mantentze-lan gutxikoak eta erraz ordezka daitezkeenak dira.

c) biraketa uhal-polea marruskaduraren bidez transmititzen dute (uhal sinkronizatzaileak izan ezik). Marruskadura hori bermatzeko, poleetan tenkatuta muntatu behar dira uhalak.

d) ardatz bat beste ardatzean gerta daitezkeen talka eta bibrazioetatik isolatzen dute.

e) ardatzen arteko transmisio-erlazioa gutxi gorabehera balio konstantekoa ezartzen dute, baina ez guztiz konstantea, irristatze puntualak direla eta (sinkronizazio-motako uhalak izan ezik).

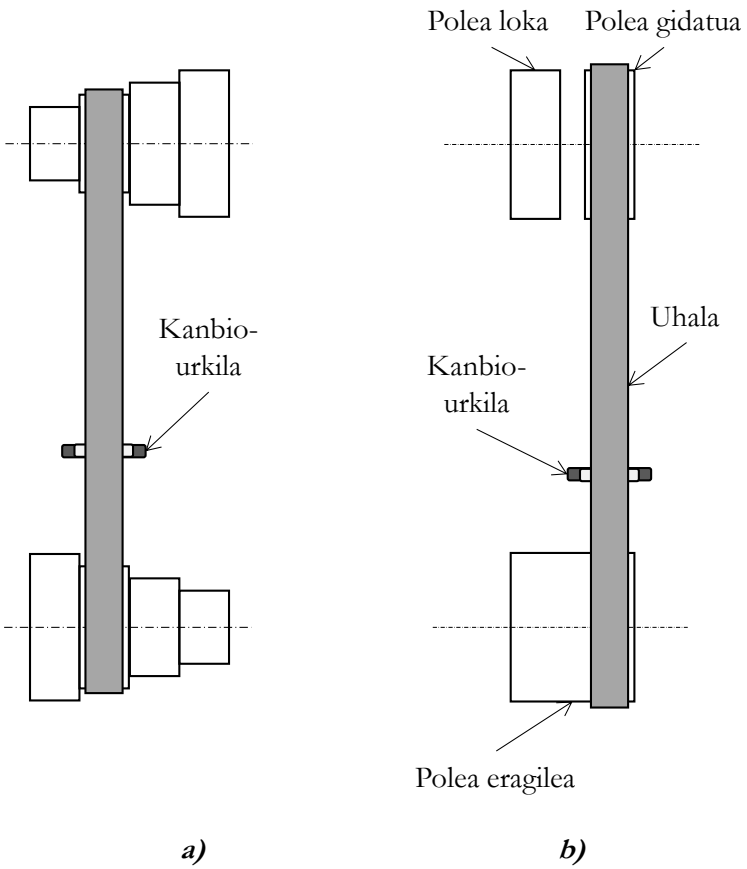
f) efizientzia handia dute, %95 ingurukoa, normalean. Potentzia-galera txikiak aurrez aipaturiko uhal-polea kontaktuko irristatze puntualei dagozkie.

g) fusible mekaniko gisa funtzionatzen dute, txabetek bezala, eta gainkarga posibleetatik babesten dute funtzionamenduan zehar (gainkarga izanez gero, uhala polearen gainean irristatzen da eta gainkarga hori ez du ardatz batetik bestera transmititzen).

Dokumentuko errekurtso grafiko eta irudi denak egileenak dira, askeak dira edo/eta baimenduta erabili dira.

h) uhalak nekeagatik huts egiten dute, fabrikatzaileen arabera 3-5 urte igaro ondoren (gutxi gorabehera 24000 ordu), nahiz eta iraupen hori lortzeko beharrezkoa den ikuskatzea eta mantentze-lanak egitea.

Uhalak abiadura-aldagailu gisa ere erabili dira (1a irudia), enbrage gisa (1b irudia) eta abar.



1. irudia. Uhalen aplikazio alternatiboak: a) abiadura-aldagailua b) enbragea. Egileen irudia.

2. UHAL MOTAK

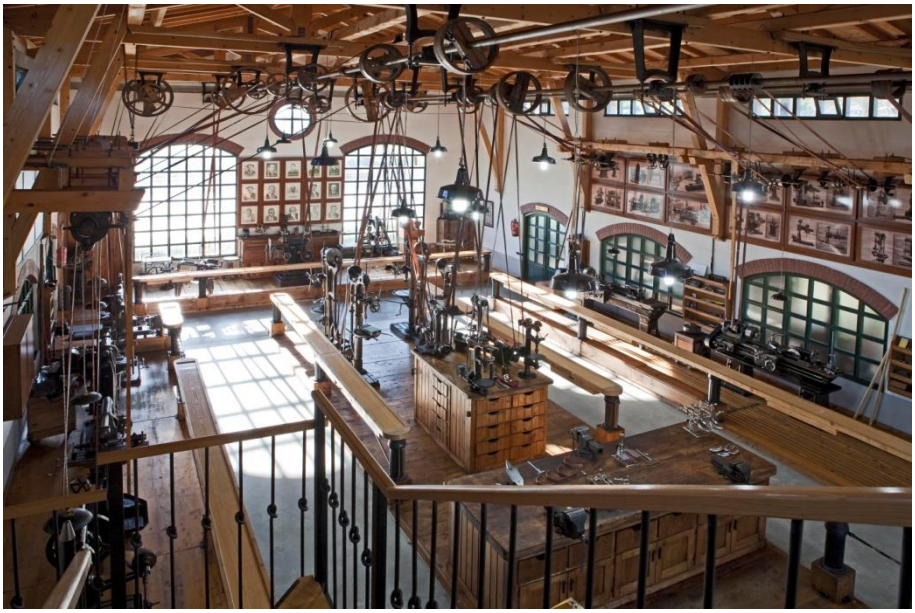
Merkatuan uhal mota ugari daude. Hiru uhal-mota nagusiak lauak, trapezoidalak edo V-koak eta sinkronizatzaileak edo timing motakoak dira. 2. irudiak horietako bakoitza erakusten du. Sekzio zirkularrekoak ere badaude, baina ez dira hain erabiliak.

CC BY NC SA

a) ***b)*** ***c)***

2. irudia. Uhal-mota nagusiak: a) lauak b) trapezoidalak edo V c) sinkronizatzaileak. Egileen irudia.

Uhal lauek sekzio angeluzuzena dute, merkeenak dira eta ongi funtzionatzen dute ardatzen arteko distantzia handietarako. Oso ezagunak izan ziren XIX. mendeko eta XX. mendearen hasierako makinetan. Makina horiek potentzia handiko motor zentral bat zuten, potentzia hori motorretik distantzia handira kokatutako makina batzuetara banatzen zuena (ikus 3. irudia).



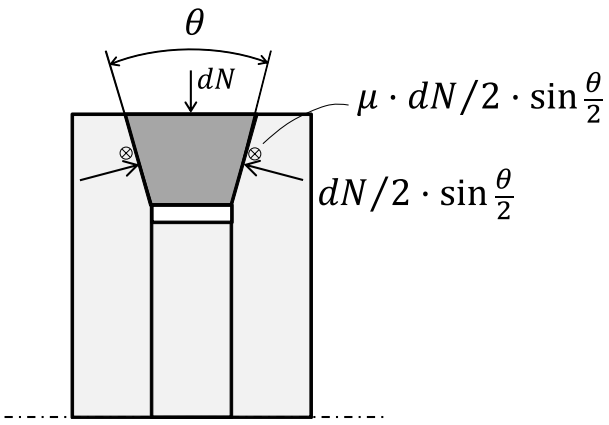
3. irudia. Makina Erremintaren Museoko tailerraren ikuspegi orokorra, potentzia banatzeko uhal lauekin. Elgoibarreko Makina Erremintaren Museoak utzitako eta baimendutako argazkia.

Hala ere, 1930eko hamarkadatik aurrera, makina bakoitzean motor elektriko lokal bat erabiltzea nagusitu zen, eta, beraz, ez zen beharrezkoa ardatzen arteko distantzia handiak gainditzea. Hala, sekzio trapezoidaleko edo V formako uhalak zabaldu ziren. Uhal horiek sekzio trapezoidala dute, eta normalean poleako eztarri batean "sartuta" egoten da (ikus 4. irudia). Uhalaren sekzio trapezoidalaren angelua estugunearena baino handixeagoa da, eta horrek falka-efektu bat sortzen du; efektu horri esker, uhal-polea kontaktuan marruskadura-indar handiagoa lortzen da, eta, beraz, uhal lauetan baino potentzia-transmisiorako ahalmen handiagoa du μd2; izan ere, 4. irudiari erreparatuz, marruskadura-indarra $\mu \cdot dN/\sin(\theta/2) > \mu \cdot dN$ izango litzateke trapezio batean. Falka-efektuari esker, ardatzen arteko distantzia txikiko poleetan eta diametroen arteko alde handietan ere erabil daiteke. Zenbait

CC BY NC SA

sekzio paralelorekin erabili ohi dira, 2b irudian ageri den bezala, non uhala hiru sekzio trapezoidalek osatzen baitute.

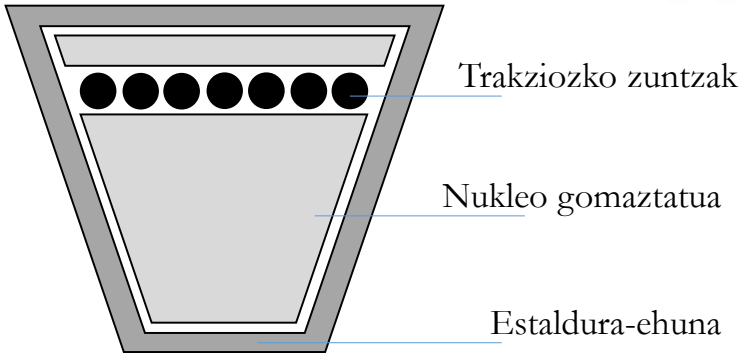
Azkenik, uhal sinkronizatzaileak "engranaje malgu" bezala kontsideratu ohi dira, uhalak eta poleak horzdunak baitira (ikus 2. irudia). Hala, potentzia ez da marruskaduraren bidez transmititzen, arrastearen bidez baizik. Potentzia handiak transmititzeko duen gaitasunaz gain, ardatzen arteko transmisio-erlazio zehatza ematen dute, ez baitago labainketarik kontaktu-polearen inongo puntutan.



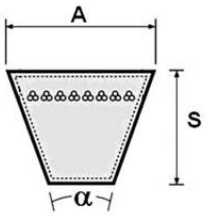
4. irudia. Uhal trapezoidalek potentzia transmititzeko ahalmen handiagoa izateko falka-efektua. Egileen irudia.

3. SEKZIO TRAPEZOIDALEKO UHALAK (V) ETA BARNE-EGITURA

Uhalen barne-egiturari dagokionez, antzina larru zurratuzkoak ziren, baina, gaur egun, 5. irudiko barne-egitura dute, hiru osagaik osatua. Lehenik eta behin, trakzioan lan egiten duten erresistentzia handiko zuntzak dituzte (altzairuzkoak, kevlarrezkoak, nylonezkoak…), uhala gehiegi luzatzea saihestuz eta poleen inguruan flexioa ahalbidetuz. Zuntz horiek inguratuz, loditasuna, flexio-gaitasuna eta uhalari bibrazioak arintzeko gaitasuna ematen dion nukleo gomaztatu bat dago. Azkenik, kanpoaldea marruskadurarekiko erresistentea den estaldura-ehun batez estalita dago (orokorrean gomazkoa), eta sistema ingurumen-baldintzetatik babesten du.



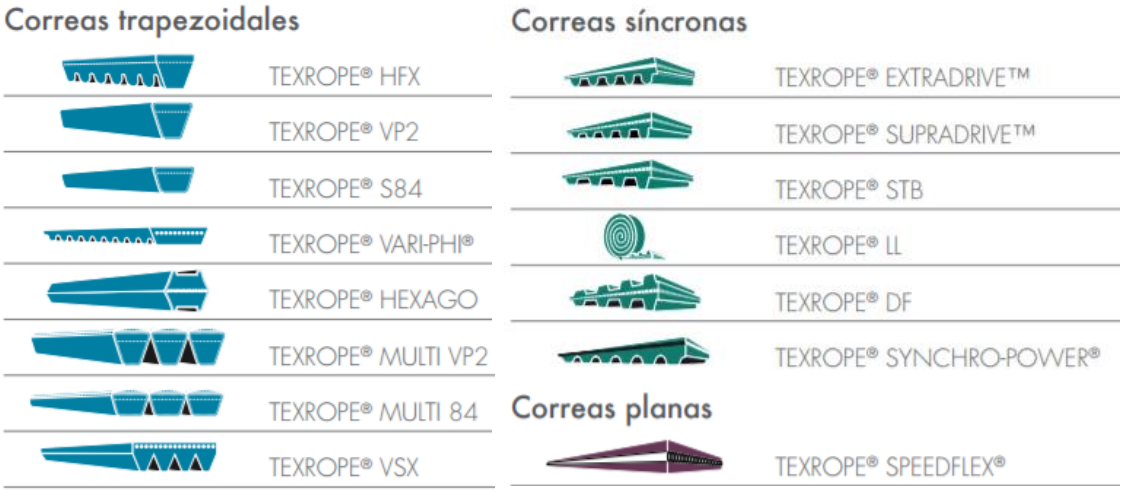
SEKZIOA	A mm	S mm	α
A	13	8	40º
B	17	11	40º
C	22	14	40º
D	32	19	40º
E	40	25	40º
3V	9	8	38º
5V	15	13	38º
8V	25	23	38º
SPZ	9.7	8	38º
SPA	12.7	10	38º
SPB	16.3	13	38º
SPC	22	18	38º



5. irudia. Uhal baten ohiko barne-egitura. Egileen irudia eta taula.

Uhal trapezoidalak dira gaur egun gehien erabiltzen direnak. Fabrikatzaileek zeharkako sekzioen dimentsioak estandarizatu dituzte, eta sekzio-profil bakoitza zenbaki eta/edo letrekin izendatu dute. Oro har, sailkapen bat egin ohi da, eta bereizi egiten dira A, B, C, D eta E letrek izendatzen dituzten "sekzio klasikoko edo bakuneko uhalak" eta 3V, 5V eta 8V gisa izendatzen diren "estuak edo ahalmen handikoak". Beste arau batzuek beste izendapen batzuk erabiltzen dituzte (ikusi 5. irudia). Uhalak banakakoak edo askotarikoak izan daitezke, hau da, sekzio bakarrekoak edo hainbat sekzio paralelokoak, arestian adierazitakoaren arabera. 6. irudian, Gates fabrikatzaileak merkaturatutako V-ko uhal motak ageri dira.

CC BY NC SA



6. irudia. Gates ekoizlearen katalogo uhal trapezoidalak. Irudi baimendua.

4. UHAL TRAPEZOIDALEN PORTAERA-EREDUA

Uhal bidezko transmisioak bi ardatz konektatuen arteko transmisio-erlazioa ezartzen du. Uhalak d (diametro txikia) eta D (diametro handia) diametroko poleetan muntatzen dira, eta poleen biraketa-abiadurak w_d eta w_D dira, hurrenez hurren.

Potentzia bi ardatzen artean osorik transmititzen denez (lehen aipatutako galera txikiak baztertuz), i transmisio-erlazioa hau da:

$$Pot_d = Pot_D \rightarrow T_d \cdot w_d = T_D \cdot w_D \rightarrow i = \frac{w_d}{w_D} = \frac{T_D}{T_d} \quad (1)$$

Ekuazio horretan, T_d eta T_D polea txikieneko eta handikoetako ardatzetako pare tortsoreak dira, hurrenez hurren. Uhalaren abiadura lineala (aitzinamendukoa) v izanik, transmisioa honela ere defini daiteke:

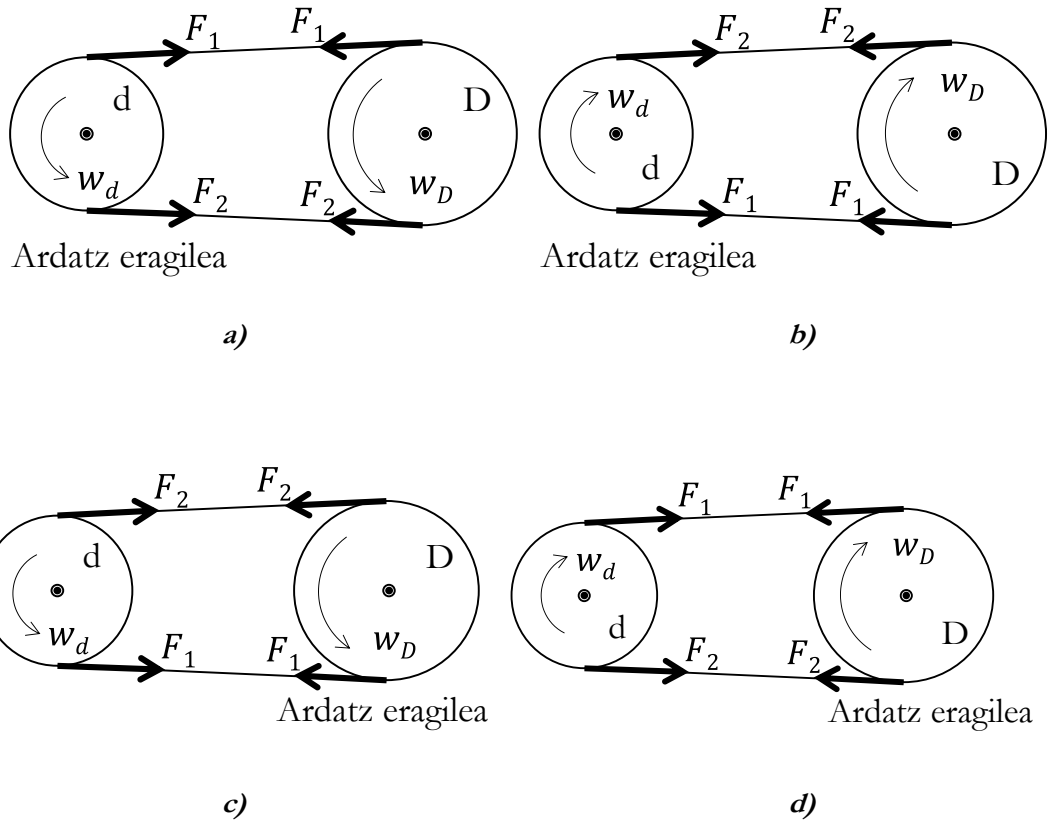
$$v = w_d \cdot \frac{d}{2} = w_D \cdot \frac{D}{2} \rightarrow i = \frac{w_d}{w_D} = \frac{D}{d} \quad (2)$$

Jakina, polean T momentu tortsore bat (T_d edo T_D) garatzeko, uhalak beste adarrak baino trakzio handiagoa izan behar du (F_1–F_2), 7. irudian ageri den bezala. Beraz, hau betetzen da:

$$T_d = (F_1 - F_2) \cdot \frac{d}{2} \quad (3a)$$

$$T_D = (F_1 - F_2) \cdot \frac{D}{2} \quad (3b)$$

CC BY NC SA



7. irudia. F_1 eta F_2 indarrak uhalaren adarretan, biraketa-konfigurazio eta ardatz motor desberdinetarako. Egileen irudia.

7. irudian ikus daitekeenez, biratzean, adarrik tenkatuena (F_1 indarrarena) da motorrak "tira" egiten diona. Ikus daitekeenez, ardatz motorrean momentu tortsoreak bere biraketa-noranzkoaren kontrako norabidea du; beste ardatzean, berriz, momentu tortsoreak biraketaren norabide bera du. Izan ere, ardatz motorra (ardatz eramalea) biratzeari kontra egiten dion pare baten eraginpean dago (momentu eragozlea, biraketaren aurka), eta beste ardatza (ardatz eramandakoa) birarazten dion pare baten mende dago (momentu eragilea, biraketaren alde).

Poleen tamaina hautatzeko, zenbat eta txikiagoa izan haien diametroa:

a) transmisioak leku gutxiago hartuko du.
b) momentu tortsorea transmititzeko indar handiagoa eskatuko da uhalean, (3) ekuazioen arabera; beraz:

b.1. uhal gehiago erabili beharko dira indarrak elkarren artean banatzeko, gutxiago sufritu eta gehiago iraun dezaten.

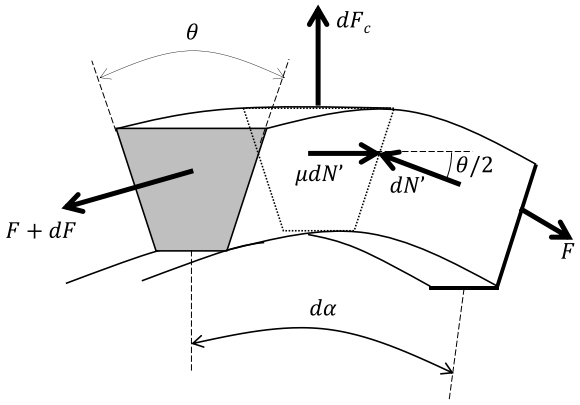
b.2. indarrak handiagoak izango dira ardatzera iristen direnean, eta ardatzaren neurria handitu beharko da gehiegizko deflexioak, maldak eta tentsioak saihesteko. Errodamenduetara ere esfortzu handiagoak iritsiko dira.

BY NC SA

Abantaila eta desabantaila horiek ikusita, praktikan polea txikiak erabiltzeko joera dago, baina betiere fabrikatzaileen katalogoek gomendatutako gutxieneko diametroak errespetatuz.

Uhalaren adarretako F_1 eta F_2 indarren arteko erlazioa lortzeko, uhal-diferentzial bat aztertzen da, 8. irudikoa bezalakoa. Uhalaren diferentzial hori kanpoko indar hauen mende dago:

a) Lehenik eta behin, uhala polearen gainean tenkatuta muntatzen denez, dN ukipen-indar normalak erreakzio bat sortzen du sekzio trapezoidalaren alboetan, 4. irudian azaldu den bezala. Erreakzio hori, 8. irudian dN´ gisa ageri dena, $dN/(2\sin(\theta/2))$ da, 4. irudian adierazten den bezala. dN' indar normalaren ondorioz, $\mu \cdot dN' = \mu \cdot dN/(2\sin(\theta/2))$ marruskadura-indarra garatzen da sekzio trapezoidalaren bi aldeetan, eta, beraz, $\mu dN/\sin(\theta/2)$ da marruskadura-indar totala.
b) Bigarrenik, uhalaren diferentziala dFc indar zentrifugoaren eraginpean dago, uhala polearen inguruan biratzean.
c) Azkenik, adar baten eta bestearen arteko 7. irudiaren arabera, uhalaren indarra handitu egiten da F_2-tik F_1-era, eta, ondorioz, uhalaren diferentzialean indarra handitu egiten da F-tik F+dF-ra.



8. irudia. Indarrak uhal trapezoidaleko diferentzial batean. Egileen irudia.

Poleari norabide tangentzialean eta erradialean indarren oreka planteatuz, 8. irudiaren arabera:

$$F \cdot cos\left(\frac{d\alpha}{2}\right) + 2\mu \cdot \frac{dN}{2 \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} = (F + dF) \cdot cos\left(\frac{d\alpha}{2}\right) \tag{4a}$$

$$dF_c + dN = (F + dF) \cdot sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) + F \cdot sin\left(\frac{d\alpha}{2}\right) \tag{4b}$$

Operatuz, uhalaren oinarrizko ekuazio deritzonera iristen da:

$$\frac{F_1 - m_l \cdot v^2}{F_2 - m_l \cdot v^2} = e^{\frac{\mu}{\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \cdot \alpha} \tag{5}$$

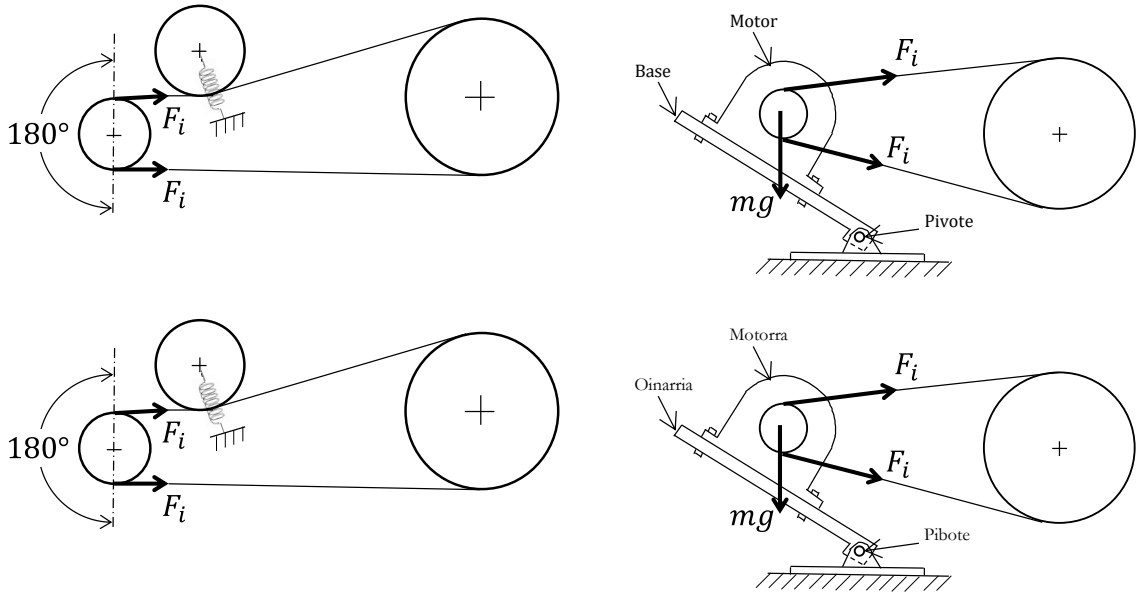
BY NC SA

m_l uhalaren luzera unitateko masa denean, v haren abiadura lineala da (aitzinamendukoa), θ bere sekzioaren inklinazio-angelua da (40º ingurukoa, ikus 5. irudia), eta α uhalaren arku aktiboa da.

Arku aktiboak 0° (balio minimoa) eta polea-uhala ukipen-angelua (balio maximoa) arteko edozein balio har dezake. Demagun transmititu beharreko potentzia oso txikia dela, ia nulua; beraz, adarretako indarrak ia berdinak izango dira, $F_1 \approx F_2$. Kasu horretan, (5) ekuaziotik, arku aktiboa hau lortzen da: $\alpha \approx 0°$. Fisikoki, bi adarretan indar bera duenez eta, beraz, polearen eta uhalaren arteko ukipen osoan, polearen sarrera eta irteera-puntuen arteko uhalaren elongazioa ez da aldatzen (uhalaren elongazioa proportzionala da jasaten duen trakzio-indarrarekiko). Egoera horretan, uhaleko puntuak ez dira polearen gainean labaintzen ari. Demagun, orain, transmititu beharreko potentzia oso handia dela, eta, beraz, $F_1 >> F_2$ dela. Kasu horretan, (5) ekuaziotik ondorioztatzen da arku aktiboa $\alpha >> 0°$ dela. Fisikoki, adar batean bestean baino askoz indar handiagoa duenez, polearen sarrera- eta irteera-puntuen arteko uhalaren elongazio-aldaketa oso handia da. Horretarako labainketa eman behar da polea-uhal ukipen-puntu askotan (praktikan, labainketa-eremua F_1-ekiko adarraren aldean egongo da). Azken finean, bi kasu horien azterketatik ondorioztatzen da α arku aktiboa irristadura duen polea-uhala ukipen-arkuaren zati gisa definitzen dela: potentzia nuluaren kasuan, arku aktiboa zero da eta transmititu beharreko potentzia handitu ahala, arku aktiboa handiagoa da. Arku aktiboa kontaktu-arkua baino txikiagoa denean transmititzen da potentzia maximoa; egoera horretan, uhal guztia labaintzen ari da (oso tarte puntual txiki bat izan ezik), eta hala gertatzen da elongazio-aldaketa eta, beraz, F_1-F_2 diferentzia maximoa; egoera horretan potentzia handitzen bada, labaintzen ari ez den puntu bakarrak labainduko luke, eta uhalak polean labainduko luke, eta ez luke ezer transmitituko. Azterketa horren ondorio bitxi bat da, uhala oso zurruna balitz, hau da, deformaezina, ezingo litzatekeela elongazio-aldaketarik izan uhalean; beraz, beti beteko litzateke $F_1 \approx F_2$, eta, beraz, uhal hori ez litzateke gai izango potentzia transmititzeko.

Uhala muntatzen den aldiunean, potentzia transmitituz biratzen hasi aurretik, uhala F_i hasierako indar batekin tenkatu behar da luzera osoan; une horretan, jakina, $F_1=F_2=F_i$ betetzen da. Hasierako indar edo tentsio horri esker, N indar normal bat garatzen da polea-uhal ukipenean (ikus 4. irudia), beharrezkoa baita marruskadura-indar bat garatzeko, parea garatu eta, beraz, potentzia transmititu ahal izateko. Hasierako F_i tentsio hori, beraz, uhalak martxan jarri aurretik duen muntaketa-tentsioa da, eta uhalean sartzen da ardatz aldagarrien

bidez (ardatz horiek, elkarrengandik urruntzean, uhala tenkatzen dute), edo automatikoki tenkatzeko gailuen bidez, 9. irudikoaren moduan.



a) *b)*

9. irudia. Uhala automatikoki tenkatzeko gailuak: a) malgukidun polea b) motor pibotatzailea. Egileen irudia.

Hasierako tentsio optimoa uhalak ez irristatzeko behar den gutxieneko tentsioa da, martxan dagoenean karga-baldintza zorrotzenaren mende dagoenean. Kontrakoa dirudien arren, uhal trapezoidalen tenkatze zuzena ez da espero zitekeen bezain alderdi kritikoa. Izan ere, antzina ez zen neurtzen uhaletako hasierako tentsioa, muntatu besterik ez zen egiten, eta, ondoren, muturreko kargapean ez irristatzeko probatzen zen. Esperientziak erakutsi du nahikoa litzatekeela baldintza erraz hori betetzea, baina katalogoek formulak ematen dituzte transmititu beharreko potentziaren, poleen diametroaren eta abiaduraren eta abarren arabera gomendatutako hasierako F_i indarraren balioa kalkulatzeko. Halaber, ardatz lerragarriak edo tentsionatzeko beste gailu batzuk (9. irudikoak, esaterako) erabiliz gero, hasierako indar-balio hori lortzeko metodoak azaltzen dituzte. Adibidez, kasurik errazena motor pibotatzailearena da (ikus 9b irudia): fabrikatzaileak gomendatutako F_i balioa kalkulatu ondoren, uhalean hasierako tentsio hori lortzeko, pibotazio-puntuarekin eta/edo motorraren masarekin "jokatu" besterik ez dago, eta pibotatze-puntuarekiko momentu-oreka planteatu.

Hasierako tentsioari dagokionez fabrikatzailearen gomendioei kasurik egiten ez bazaie, uhalaren bizitza erabilgarria nabarmen laburtu daiteke, izan ere:

a) hasierako tentsio oso baxuaren ondorioz, uhala labaindu egiten da, eta horrek higadura eta gainberotzea eragiten ditu. Horrek, uhalaren bizitza laburtzeaz gain, potentzia-transmisioan eraginkortasuna galtzea dakar.

b) hasierako tentsio handiegiak uhala tentsio handiagoan lan egitea eragiten du. Horrek, uhalaren bizitza laburtzeaz gain, ardatzaren eta ardatzaren errodamenduen bizitza ere laburtzen du, horiei ere indar handiagoa iristen baitzaie.

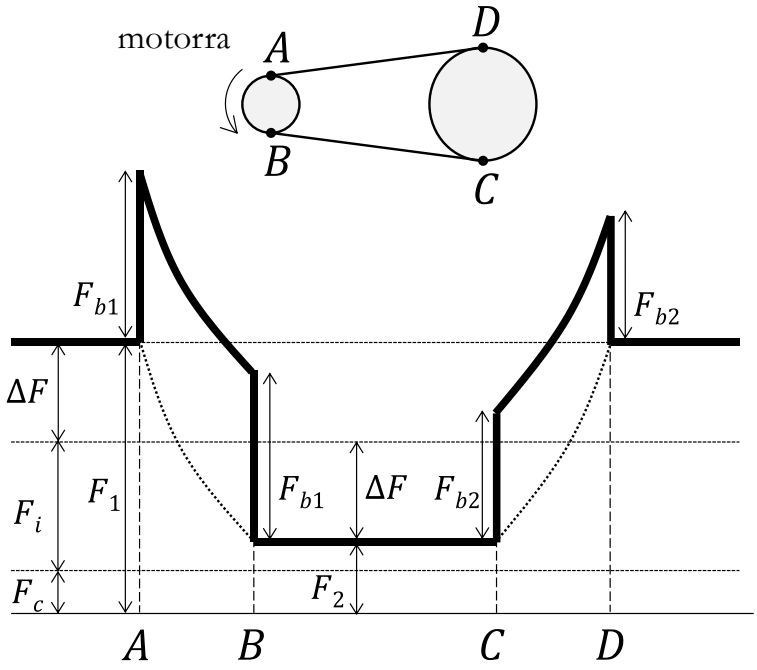
Uhala biratzen hasten denean, hasierako F_i indarrari F_c indar zentrifugoa gehitzen zaio. Egoera horretan, adarretako indarrak $F_1=F_2=F_i+F_c$ izango lirateke; hala ere, poleen artean potentzia transmititu ahal izateko, momentu tortsore bat garatu behar da. Adarretako F_1 eta F_2 indarrak desberdinak izan behar dira, aurrez azaldutakoaren arabera. (3) ekuazioen arabera, F_1-F_2 diferentziak $2T_d/d=2T_D/D=2T/D$ izan behar du. Azken batean, adarretako indarrek hiru osagai izango dituzte: F_i, uhalaren hasierako tentsioaren eraginez; F_c, indar zentrifugoaren eraginez; eta T/D, momentu tortsoreak sortutakoa:

$$F_1 = F_i + F_c + \frac{T}{D} \tag{6a}$$

$$F_2 = F_i + F_c - \frac{T}{D} \tag{6b}$$

Uhal trapezoidaletan, uhalaren forma dela eta, uhala poleen inguruan makurtzen denean, F_b flexio-indar gehigarria sortzen da. Polearen diametroa zenbat eta txikiagoa izan, orduan eta gehiago makurtzen da uhala, eta, beraz, handiagoa da F_b-ren balioa. Horren ondorioz, uhalaren indarrek ziklo oso batean (bira oso batean) izan duten bilakaera 10. irudian ageri da. Irudi horretan argi ikusten da uhalak karga aldakorrak dituela, eta, beraz, nekeagatik huts egingo duela funtzionamendu-denbora jakin baten ondoren.

CC BY NC SA



10. irudia. Indarrak uhalean zehar (uhal trapezoidala). Egileen irudia.

Hurrengo atalean, kalkulu teoriko bat azaltzen da, 10. irudiko adarretako indarren arabera, uhalaren neke-iraupena kalkulatzeko. Nolanahi ere, fabrikatzaileak berak bakarrik ezagutzen ditu uhalaren materialaren osaera eta propietateak, eta, beraz, edozein kalkulu teoriko hurbilpen hutsa izango da. Alde horretatik, fabrikatzaileen katalogoek ez dituzte ematen nekea kalkulatzeko formulak beren uhalentzat; horren ordez, uhalek urte kopuru jakin bat iraungo dutela bermatzen dute; behar bezala hautatzen, muntatzen eta mantentzen badira, katalogoko jarraibideen arabera. Hori dela eta, nekeko kalkulu teorikoaz gain, katalogo komertzial baten bidez uhal bat hautatzeko prozesua ere azalduko da hurrengo atalean.

5. UHAL TRAPEZOIDALEN BIDEZKO TRANSMISIOEN DISEINUA

5.1 Kalkulu teorikoa

Azaldu berri dugun bezala, uhalek nekeagatik huts egiten dute. Atal honetan nekea kalkulatzeko prozedura teorikoa azaltzen da. 10. irudian ikusten denez, bira oso batean zehar (iraganaldi edo ziklo deritzo horri), uhal trapezoidalak bi indar-maximo ditu: F_1+F_{b1} eta F_1+F_{b2}.

Hala, maximo horietako batetik pasatzen den bakoitzean, uhala kaltetu egiten da:

$$Kaltea\ 1\ poleatik\ igarotzean = \left(\frac{K}{F_1 + F_{b1}}\right)^{-b} \quad (7a)$$

CC BY NC SA

$$Kaltea\ 2\ poleatik\ igarotzean = \left(\frac{K}{F_1 + F_{b2}}\right)^{-b} \tag{7b}$$

Hau da, bira oso bakoitzean pilatutako kaltea hau da:

$$Biraketa\ oso\ baten\ sortutako\ kaltea = \left(\frac{K}{F_1 + F_{b1}}\right)^{-b} + \left(\frac{K}{F_1 + F_{b2}}\right)^{-b} \tag{8}$$

K eta b esperimentalki lortutako aldagaiak dira, eta horien balioa aldez aurretik hautatutako uhal-sekzio motaren araberakoa da.

Hala, biraketa egitean, uhalak kaltea pilatuko du, bira batzuen ondoren pilatutako kaltea 1 izan arte (% 100eko kaltea), eta une horretan, uhalak neke hutsegitea izango du.

Miner-en kalte pilatuaren araua aplikatuz, uhalaren N iraupena adierazpen honetatik askatzen da:

$$N \cdot \left[\left(\frac{K}{F_1 + F_{b1}}\right)^{-b} + \left(\frac{K}{F_1 + F_{b2}}\right)^{-b}\right] = 1 \tag{9}$$

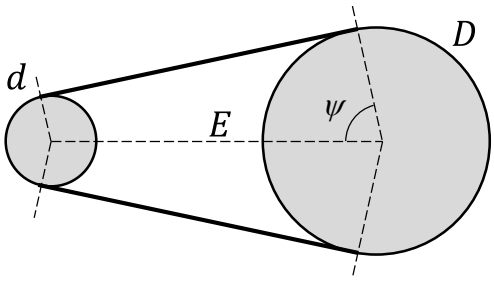
N balioetsitako iraupenetik abiatuta (uhalaren biraketa-kopuru osoa), t iraupena kalkula daiteke denboran; uhala v abiaduran (m/s-tan) aurreratzen bada, L luzera du (m-tan), eta N birako iraupena zenbatesten bada, t iraupena (ordutan) hau da:

$$t = \frac{N \cdot L}{v \cdot 3600} \tag{10}$$

Uhalaren L luzera transmisioaren geometriatik lortzen da, E ardatzen arteko distantziatik eta d eta D polearen diametroetatik abiatuta (ikus 11. irudia).

$$L = 2E \cdot sin\Psi + \Psi \cdot d + (\pi - \Psi) \cdot D \tag{11a}$$

$$\Psi = arccos\left(\frac{D - d}{2E}\right) \tag{11b}$$



BY NC SA

11. irudia. Uhalaren luzera. Egileen irudia.

Kontuan izan behar da kalkulu horrek potentzia jakin bat transmititzen duen uhala bakar baten iraupena kalkulatzen duela. Era berean, uhal bakar batek transmiti dezakeen potentzia zehaztu daiteke, ezarritako iraupena baino lehen hutsegiterik gertatu gabe. Uhal bakarra egon beharrean bat baino gehiago badaude, ohikoa den bezala, uhal bakoitzak transmitituko duen potentzia: potentzia totala zati uhal kopurua izango da.

Berriro azpimarratzen da nekearen kalkulu hori teorikoa baino ez dela. Errealitatean, uhaletako nekearen fenomenoa oso konplexua da, hura egiteko erabiltzen diren materialak, polea, uhalaren marruskadura eta abar direla eta. Izan ere, lehenago esan bezala, fabrikatzaileen katalogoek, nekea kalkulatzeko metodo bat azaldu ordez, uhalek urte kopuru jakin bat irauten dutela bermatzen dute, baldin eta hautatzen, muntatzen eta mantentzen badira, beren jarraibideen arabera.

5.2 Kalkulua (hautaketa) katalogo komertzial baten bidez

Atal honetan, Gates Corporation etxeko Texrope fabrikatzailearen katalogoa erabiliz uhal trapezoidal egokia aukeratzeko eman beharreko pausoak zehazten dira (fabrikatzaile guztiek hemen aurkeztutakoaren antzeko prozedura dute).

Aurreko atalean aipatutakoari dagokionez, katalogo horrek ahalmen handiko V. uhal industrialetarako 24000 orduko iraupena ezartzen du; beste katalogo batzuek, berriz, 3-5 urtekoei buruz hitz egiten dute, eta ohartarazten dute baldintza txarretan bizitza erabilgarri hori 1-2 urtera murriztu daitekeela.

Katalogo horretan, honako uhal-mota hauek daude: TEXROPE S 84, TEXROPE VP 2 eta TEXROPE HFX banakako uhalak eta TEXROPE MULTI 84 eta TEXROPE MULTI VP 2 banda (hurrenez hurren, S 84 eta VP 2 banakako uhal paraleloak).

S 84 uhalak sekzio klasikokoak dira eta ez dira erabiltzen; beraz, oso gutxitan sartzen dira diseinu berrietan, eta ordezteko bakarrik erabiltzen dira. VP 2 uhalak sekzio estukoak dira, sekzio klasikokoak baino modernoagoak; sekzio sakonagoa dutenez, itsasgarritasun handiagoa dute eta potentzia handiagoa transmititzen dute; gainera, pisu txikiagoa dute, eta, beraz, abiadura handiagoan bira dezakete, indar zentrifugoaren eraginpean baitaude. Azkenik, HFX uhalek VP 2en sekzio bera dute, baina hortzak dituzte (uhal sinkronizatzaileekin ez nahastu), eta horrek polearen inguruan malgutasun handiagoa ematen die. Hala, diametro txikiagoko poleekin erabil daitezke (polea handiak erabiliz gero, uhalak

CC BY NC SA

gehiago irauten dute, makurdura tentsio gutxiago jasaten baitute). 12. irudian uhal horietako bakoitza ageri da.

13. irudian, B sekzio baten (S 84 sekzio klasikoa), SPB sekzio baten (VP2 sekzio estua) eta XPB sekzio baten (HFX sekzio estua) potentzia-transmisiorako ahalmena alderatzen da. Geziek adierazten dute XPB uhal batek polearen diametro berdinarekin (gezi bertikala) transmiti dezakeen potentzia handiena, XPB uhal baten polearen diametro txikiena (gezi horizontala) eta diametro txikiagoa konbinatu eta potentzia handiagoa lortzeko aukera (gezi diagonalak).

Características de construcción

cuerdas de tracción de poliéster	
• elevada resistencia	• buena resistencia a las cargas de choque ocasionales
• bajo alargamiento	• longitud estable (con marca ST)
compuesto de caucho	
• propiedades físicas de alto rendimiento	• gama de temperaturas de -30°C hasta +80°C
	• buen soporte de las cuerdas
	• buena resistencia a los aceites de uso común
	• conforme a ISO 4184, DIN 7753, NF T-47 141 y BS 3790
	• tienen conductividad estática (ISO 1813) y se pueden utilizar en las condiciones descritas en la norma 94/9/EC - ATEX
construcción con envolvente	
• recubrimiento de tejido sobre el cuerpo de la correa	• potencia de agarre extra
	• mayor protección contra el desgaste

Secciones y dimensiones nominales

	Anchura mm	Altura mm
Z	10	6
A	13	8
B	17	11
C	22	14
D	32	19
E	38	25
25	25	16

a)

Características de construcción

cuerdas de tracción de poliéster	
• elevada resistencia	• buena resistencia a las cargas de choque ocasionales y regulares
• bajo alargamiento	• longitud estable (con marca ST)
compuesto de caucho	
• propiedades físicas de alto rendimiento	• gama de temperaturas de -30°C hasta +80°C
	• soporte muy bueno de las cuerdas
	• buena resistencia a los aceites de uso común
	• conforme a ISO 4184, DIN 7753, NF T-47 141 y BS 3790
	• tienen conductividad estática (ISO 1813) y se pueden utilizar en las condiciones descritas en la norma 94/9/EC - ATEX
construcción con envolvente	
• recubrimiento de tejido sobre el cuerpo de la correa	• potencia de agarre extra
	• mayor protección contra el desgaste

Secciones y dimensiones nominales

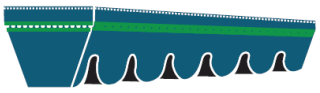
	Anchura mm	Altura mm
SPZ	10	8
SPA	13	10
SPB	16	13
SPC	22	18
19	19	15
3V	10	8
5V	16	13

b)

Características de construcción

cuerdas de tracción de poliéster	
• elevada resistencia	• mínima pérdida de tensión en la correa
• bajo alargamiento	• longitud estable (con marca ST)
• cuerdas especialmente tratadas	
capa de adhesión de color verde	
• cuerdas de tracción de poliéster incorporadas en la capa de adhesión	• robusta unión entre las cuerdas de tracción y el material del propio cuerpo de la correa
compuesto de caucho reforzado de fibras	
• fibras de alto rendimiento incorporadas en el compuesto	• gama ampliada de temperaturas de -40°C hasta +110°C
• orientación transversal de las fibras	• alta resistencia a la abrasión, al desgaste, a los ambientes químicamente agresivos (ácido y base), al envejecimiento, al ozono, a la luz ultravioleta y al calor
	• excelente soporte de las cuerdas
	• flexibilidad longitudinal y rigidez transversal
	• excelentes propiedades de curvatura inversa cuando se utiliza con tensores dorsales

Secciones y dimensiones nominales



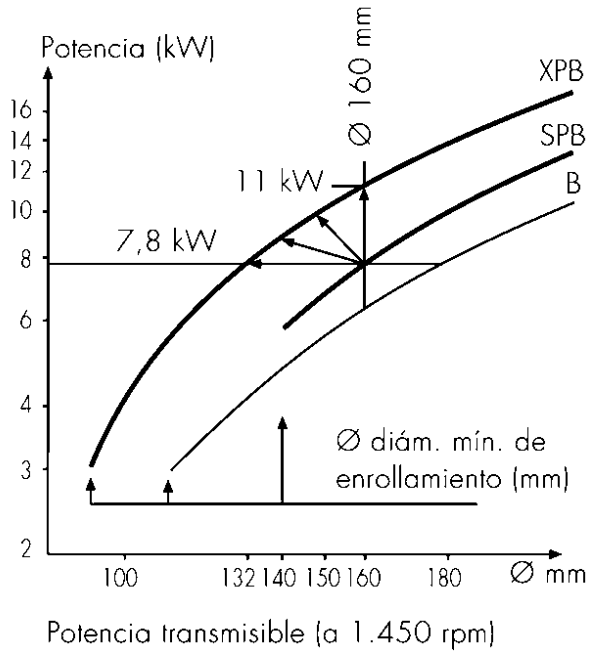
	Anchura mm	Altura mm
XPZ/3VX	10	8
XPA	13	10
XPB/5VX	16	13
XPC	22	18

dentado especial	
• geometría optimizada	• perfecta estabilidad de la correa
• lados perfilados por amolado con precisión	• efecto de cuña uniforme
	• reducción de la tensión de flexión

c)

12. irudia. TEXROPE katalogoan dauden uhalak: a) S 84 sekzio klasikoak b) VP 2 sekzio estuak c) HFX sekzio estuak. Irudi baimendua.

CC BY NC SA



13. irudia. 12. irudiko uhal-sekzioetarako potentzia-transmisioaren ahalmenen konparazioa. Irudi baimendua.

Atal honetan aztertuko den hautaketa-prozedura VP 2 eta HFX uhalei dagokie, ohikoenak baitira. Hautapen-taulak HFX uhalak dira (VP 2 dutenak antzekoak dira).

Uhala aukeratzeko lehen urrats gisa, transmititu nahi den potentzia (potentzia nominala) ezartzen da, 1. taulako SF zerbitzu-faktorearekin handitua. Hartara, hautatzen den transmisioak behar baino potentzia handiagoa transmitituko du; beraz, zerbitzu-faktore hori segurtasun-koefiziente moduko bat da. Potentzia handi horri diseinu edo proiektu-potentzia esaten zaio:

$$P_{diseinu} = P_{nominala} \cdot SF \tag{12}$$

Ondoren, diseinuko potentzia hori transmititzeko erabili beharreko uhal-sekzio mota aukeratuko da. Horretarako, 14. irudiko grafikoa erabiltzen da. Diseinu-potentziaz gain, sarrera-datu gisa polea txikiaren abiadura behar dugu (hau da, abiadura handiagoan biratzen duen ardatzaren abiadura). Ikusten denez, askotan sekzio bat baino gehiago aukera daitezke.

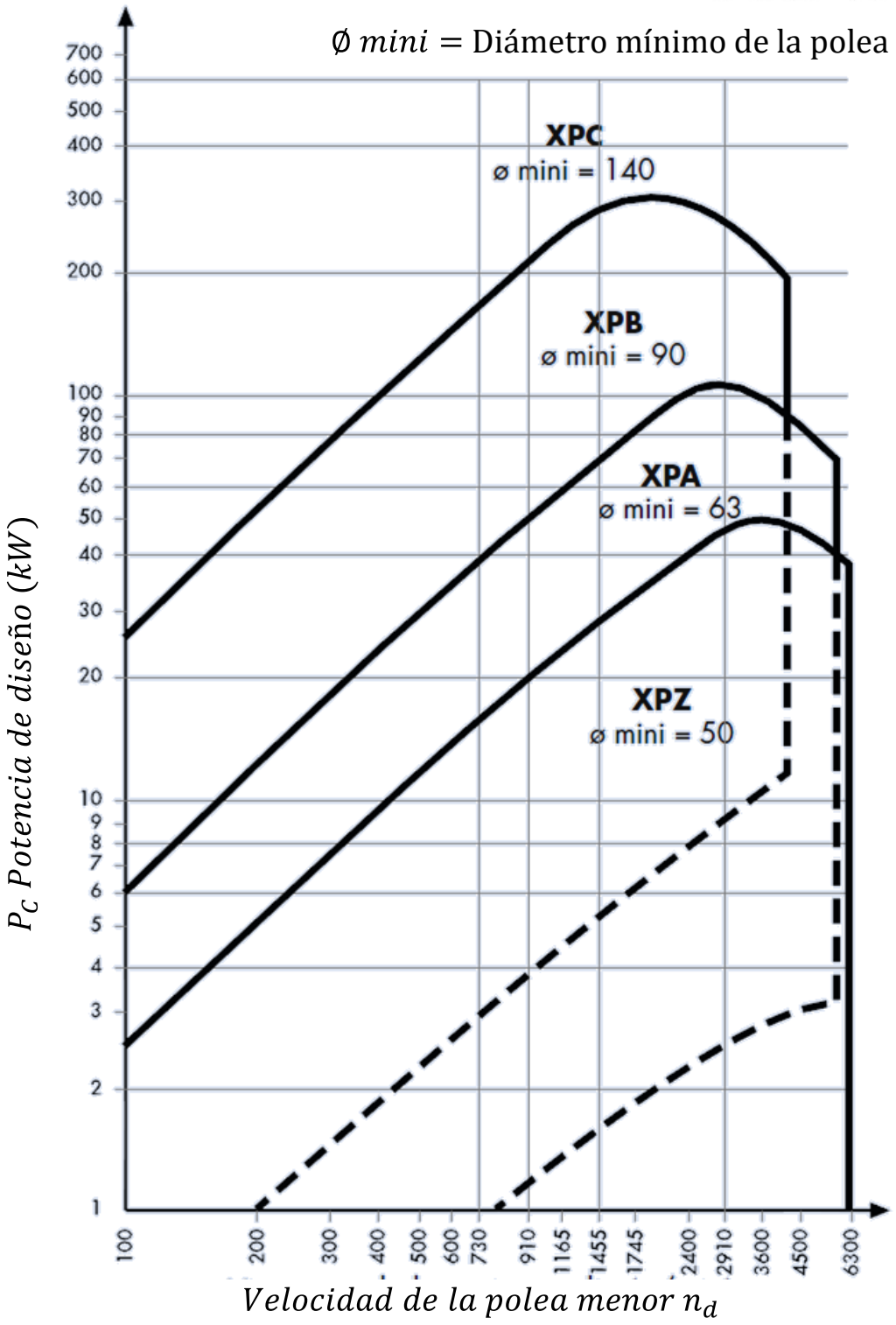
Grafikoak berak adierazten digu poleen gutxieneko diametroa sekzio mota bakoitzerako. Aurreko ataletan esan dugunez, zenbat eta diametro txikiagoa izan, orduan eta espazio gutxiago okupatuko du transmisioak, baina indar handiagoak agertuko dira adarretan, eta, beraz, uhal gehiago beharko dira (gainera, ardatzera iristen diren indarrak eta errodamenduak

CC BY NC SA

handiagoak izango dira). Poleen diametroak 15. iruditik aukeratzen dira, SPB sekzioei (VP 2 motakoak) eta XPB sekzioei (HFX motakoak) dagozkienak. Hor ere adierazten da kasu bakoitzerako gomendatutako gehieneko abiadura lineala.

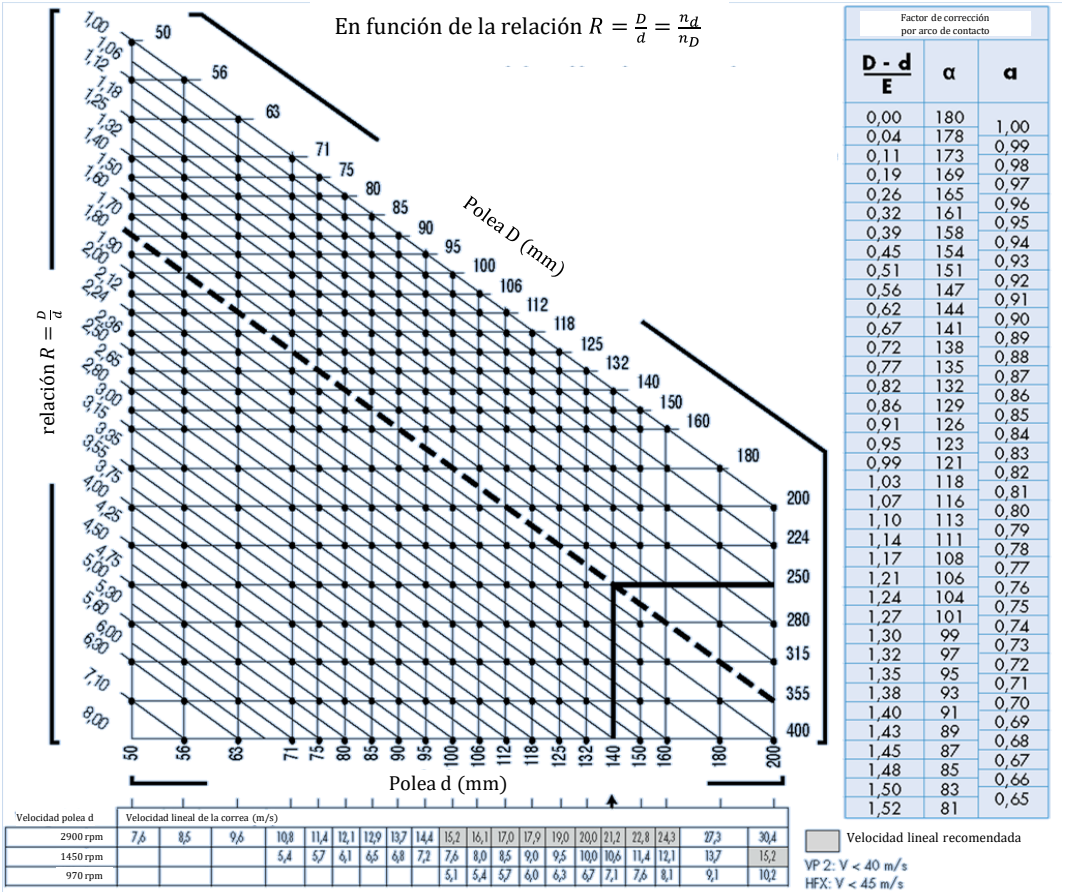
MAKINA GIDATUA	**MAKINA GIDARIA**					
	Motor elektrikoa, sinkronoa, komb. motorra. barnekoa, zilindro anitzekoa, turbinak			**Momentu handiko motor elektrikoa, zilindro bakarreko barne-errekuntzako motorra**		
	8 ordu/egun.	**16 ordu/egun.**	**24 ordu/egun.**	**8 ordu/egun.**	**16 ordu/egun.**	**24 ordu/egun.**
Karga arina: likidoen irabiagailuak. Ponpa eta konpresore zentrifugoak. Banda garraiatzaileak. Haizagailuak. Ebaketa jarraituko makina-erremintak	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Karga arrunta: 3 zilindroko eta gehiagoko ponpa eta konpresoreak. Kate garraiatzaileak. Fresatzeko makinak.	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Karga astuna: zilindro bateko eta biko ponpa eta konpresoreak. Putzupada-jasogailuak. Arrabotatzeko eta mortairatzeko makinak	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Karga oso astuna: garabiak jasotzeko mekanismoak. Prentsak. Zizailak.	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8

1. taula. SF zerbitzu-faktorea potentzia izendatua handitzeko. Egileen taula.



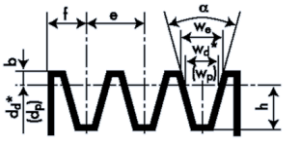
14. irudia. TEXROPE katalogoko HFX uhalak hautatzeko grafikoa. Irudi baimendua.

CC BY NC SA



Diámetros de referencia (o primitivos) estándar — Valores en negrita: correas HFX solamente

	95	106	118	132	**150**	**170**	**190**	**212**	**236**	**265**	**300**	**335**	**375**	**450**	**560**	**710**
90	100	112	125	**140**	**160**	**180**	**200**	**224**	**250**	**280**	**315**	**355**	**400**	**500**	**630**	**800**



W_d^*	e	f	b_{mini}	h_{mini}	d_d^*	α	$W_{e_{mini}}$
14	19±0,4	$12,5^{+2}_{-1}$	3,5	14	≤190 >190	34 38	16,14 16,41

W_d erreferentziako zabalerak eta d_d erreferentziako diametroak:
lehen W_p (zabalera primitiboa) eta d_p (diametro primitiboak) esaten zieten

15. irudia. TEXROPE katalogoko SPB (VP 2 mota) eta XPB (HFX mota) sekzioetarako polearen diametroak hautatzeko grafikoa. Irudi baimendua.

Hurrengo urratsa uhalaren luzera aukeratzea da. Uhalak luzera estandarretan fabrikatu eta merkaturatzen dira; TEXROPE fabrikatzailearen XPB uhalen kasuan, 1.000 mm-tik 4750 mm-ra bitartekoak dira (ikus 2. taula). Hautatutako polearen ardatzen eta diametroen arteko distantziaren arabera, uhalak behar duen luzera 11. irudiko formularen bidez kalkula daiteke. Kalkulatutakora gehien hurbiltzen den uhalaren luzera estandarra hautatuko da. Behar den luzera (11. irudia) katalogoko aukeratuarekin bat ez datorrenez (2. taula), horrek ardatzen arteko distantzia aldatzera behartuko gaitu. Nolanahi ere, distantzia hori geldirik dagoen uhalari dagokiona da; azaldu den bezala, uhalak tentsionatuta egon behar du behar bezala

CC BY NC SA

funtzionatzeko, eta, beraz, distantzia hori erreferentzia-balio bat baino ez da.

XPB			
Uhalaren erreferentzia L_d (mm)			
XPB 1000	XPB 1600	XPB 2240	XPB 3150
XPB 1060	XPB 1650	XPB 2280	XPB 3350
XPB 1120	XPB 1700	XPB 2360	XPB 3550
XPB 1180	XPB 1750	XPB 2410	XPB 3750
XPB 1250	XPB 1800	XPB 2500	XPB 4000
XPB 1320	XPB 1850	XPB 2530	XPB 4250
XPB 1340	XPB 1900	XPB 2650	XPB 4500
XPB 1400	XPB 1950	XPB 2680	XPB 4750
XPB 1450	XPB 2000	XPB 2800	XPB 5000
XPB 1500	XPB 2120	XPB 2840	
XPB 1550	XPB 2150	XPB 3000	

2. taula. TEXROPE katalogoko XPB uhaletan dauden luzerak. Egileen taula.

Transmisioak behar duen uhal kopurua zehazteko, 16. irudia erabiltzen da (XPB uhaletarako). Polea txikiaren abiadurarekin eta diametroarekin eta lortu nahi den transmisio-erlazioarekin, uhal bakoitzak transmiti dezakeen momentua lortzen da (potentzia unitarioa).

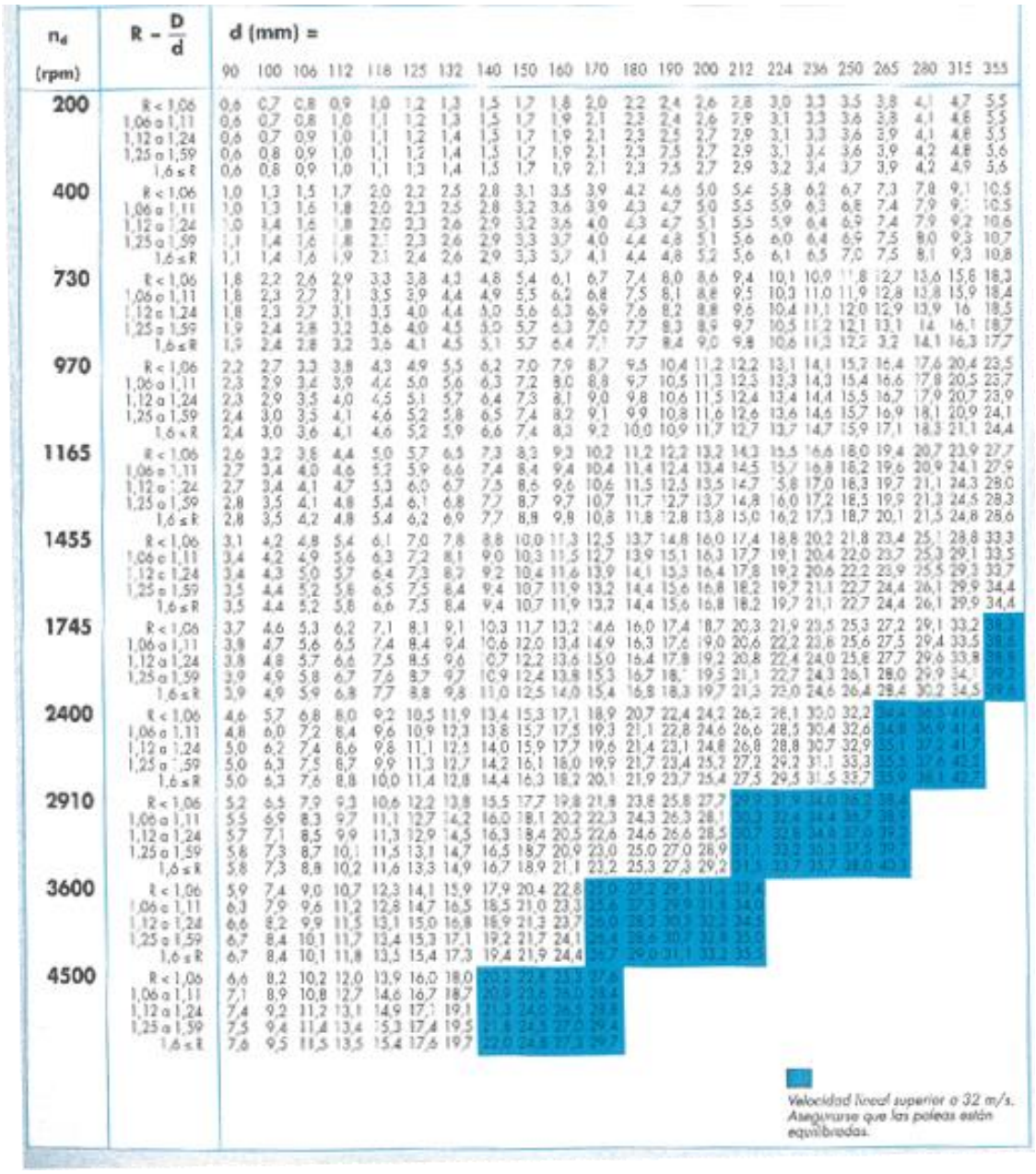
16. irudiko taulan adierazitako potentzia L=3350 mm-ko uhalari dagokio, eta α=180°-ko ukipen-arkua du (ikus taularen goiburua). Hautatutako uhalaren luzera eta/edo ukipen-arkua desberdina bada, luzeraren araberako zuzenketa-faktorea (C_L, ikusi 3. taula) eta/edo kontaktu-arkuko zuzenketa-faktorea (a, ikus 15. irudia) erabiltzen dira. Horrenbestez, behar den N uhal kopurua adierazpen honen bidez kalkulatzen da:

$$N = \frac{P_{diseinu}}{P_{unitarioa} \cdot a \cdot C_L} \tag{13}$$

17. irudikoa bezalako poleek uhal kopuru desberdinak hartzeko aukera dute (ikus katalogoak); katalogoan ez badago arteka-kopuru nahikoa duen polea bat, ad-hoc polea bat egin behar da, eta horrek produktua garestitzen du.

CC BY NC SA

P_0=Potencia básica de transmisión por correa (kW) para L=3550 mm y α=180° (arco de contacto)



16. irudia. Potentzia unitarioak TEXROPE katalogoko XPB uhaletan. Irudi baimendua.

L (mm)	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500	2800	3000	3350	3550
C_L	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01

3. taula. TEXROPE katalogoko XPB uhalen luzeragatik zuzentzeko faktorea. Taula baimendua.

CC BY NC SA

17. irudia. 4 uhal sartzeko polea. Irudi baimendua.

Oraindik zehaztu gabe dago uhalak muntatu behar diren tentsioa, hau da, hasierako F_i tentsioa. Aurrez aipatutakoarekin bat etorriz, hasierako tentsioa lortzeko, ardatz desplazagarriak (ardatzen arteko distantzia handituz edo txikituz tentsio handiagoa edo txikiagoa lortzen da) edo tentsio-gailuak (9. irudikoak) erabiltzen dira. Metodorik ohikoena ardatz mugigarriena da. TEXROPE katalogoaren arabera. x=0,03·L-ko eta y=0,045'L-ko (uhalaren luzera L izanik) doikuntza-tarte bat izan behar du, 18. irudiaren arabera, uhalak muntatzeko eta tenkatzeko ardatzetako bat lekualdatzeko.

Katalogoek uhalak tenkatzeko metodoak eskaintzen dituzte, gutxi gorabehera orokorrak, sinpleak eta zehatzak. Guztien artean, indar/deflexio metodoa da erabiliena, nahiko zehatza eta sinplea delako. Lehenik eta behin, uhalean gomendatutako F_i tentsioa kalkulatzen da, adierazpen honen arabera:

$$F_i = \frac{50 \cdot (2.5 - a) \cdot P_{nominal}}{a \cdot N \cdot v} + K \cdot v^2 \qquad (14)$$

Ekuazio horretan, K 4. taulatik lortzen da, eta V uhalak m/s-tan duen abiadura lineala da. Ekuazioan, potentzia nominala kW-etan dago, eta F_i tentsioa daN-etan lortzen da.

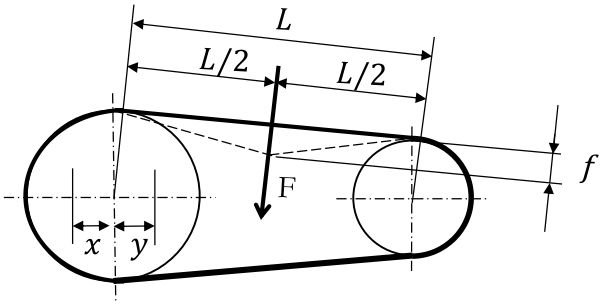
SPZ	0.007	**XPZ**	0.007	**Z**	0.006
SPA	0.012	**XPA**	0.012	**A**	0.011
SPB	0.019	**XPB**	0.019	**B**	0.019
SPC	0.038	**XPC**	0.036	**C**	0.031
				D	0.059

4. taula. K koefizientea hasierako tentsioa kalkulatzeko. Taula baimendua.

Hasierako F_i tentsioa jakin ondoren, lehenik eta behin uhala muntatzen da. F_i tentsioa lortzeko, ardatzen arteko distantzia aldatu egingo litzateke, ardatzen arteko distantzia zehatza lortu arte, eta ardatzen arteko distantzia horretarako, uhaleko tentsioa F_i izango litzateke. Hala ere, praktikan oso zaila da uhaleko tentsioa neurtzea. Horregatik, uhaleko tentsioa

CC BY NC SA

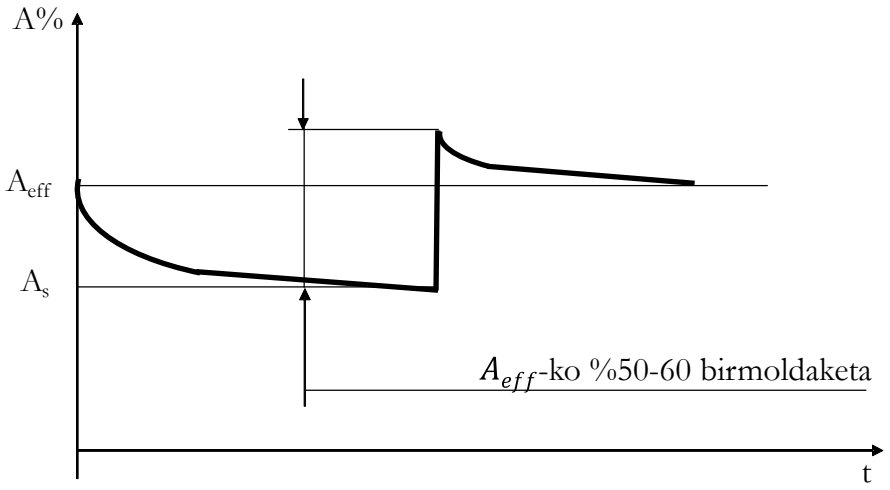
zuzenean neurtu beharrean, zeharkako neurketa egiten da. Fabrikatzaileak egiaztatu duenez, f=L/100 (ikus 18. irudia) deflexioa lortzeko uhalaren adarraren erdiko puntuan egin behar den F indarra $F \approx F_i/25$ da (L adarraren luzera $E \cdot \sin\psi$ -ren berdina izanik, ikus 11. irudia). Hala, tentsio-metodoaren bidez, F indar bat aplikatzen da (indar horren magnitudea erraz neur daiteke dinamometro batekin), f=L/100 deflexio hori lortu arte: F indarra $F_i/25$ baino txikiagoa bada, ardatzen arteko distantzia handitu beharko da; aldiz, F indarra $F_i/25$ baino handiagoa bada, ardatzen arteko distantzia murriztu beharko da.



18. irudia. Uhalak tensionatzea TEXROPE katalogoaren arabera. Irudi baimendua.

Transmisioaren lehenengo minutuetan, uhala poleara egokitzen da eta, ondorioz, uhalaren tentsioa nabarmen jaisten da. Hori dela eta, lehenengo operazio-orduak igaro ondoren, komeni da uhala berriz lotzea, hasierako balioaren %50-60ko tentsio gehigarria aplikatuz; tentsio-galera berri bat egongo da, eta, horren ondoren, uhala egonkortuko da aurreikusitako hasierako balioan. Prozesu hori 19. irudian ageri da.

Esan bezala, katalogoaren arabera, uhalaren iraupena 24000 ordukoa da. Iraupen horretara iristeko, ez da nahikoa uhala behar bezala hautatu eta muntatzea. Gainera, uhalek mantentze-lan zorrotza behar dute, aldian behin tentsioa, zaratak, higadurak, bibrazioak, deslerrokatzeak eta abar egiaztatzeko. Esperientziak erakusten duenez, uhaletako hutsegite goiztiarren %40 inguru mantentze-lan desegokiengatik gertatzen dira; %20, gaizki hautatzeagatik, eta %20, gaizki muntatzeagatik. Garaiz aurreko hutsegitearen arrazoiak osatzeko, ingurumen-baldintza txarrak (beroak eta zikinkeriak laburtu egiten dute uhalaren bizitza) %15arekin daude, eta osagai akastunak eta manipulazio edo biltegiratze desegokia (adibidez, uhalak gainazal lau batean biltegiratu behar dira, inoiz ez kako batetik zintzilik) %5arekin. Datu horiek berresten dute uhalaren bidezko transmisio baten hutsegite goiztiarraren arrazoi nagusia mantentze-lan desegokia dela. Mantentze-lan egokia egitea bereziki garrantzitsua da karga handiko, abiadura handiko, muturreko tenperaturetako edo geldialdi/abiarazte ugari dituzten eta, nolanahi ere, ekipamendu kritikoetan lan egiten duen uhalean.



19. irudia. Uhalak erlaxatu eta bertenkatzea TEXROPE katalogoaren arabera. Irudi baimendua.

Amaitzeko, gogoan izan behar da uhal bidezko transmisioak esfortzuak sartzen dituela ardatz horietan. Momentu tortsoreaz gain, ardatzari egindako esfortzuak poleen berezko pisua eta uhalaren adarretako tentsioaren ondoriozko indarra dira. Bai ardatzak bai haren euskarri diren errodamenduek gai izan behar dute karga horiek absorbatzeko.

Poleen pisua fabrikatzaileen katalogoetan adierazten da. Adarren indarrari dagokionez, emaitza horizontala (20. irudian R gisa ageri dena) eta uhalaren ondoriozko bertikala (20. irudian ageri ez dena) sortzen ditu. Emaitza bertikala baztergarritzat jo daiteke polearen berezko pisuarekin eta emaitza horizontalarekin alderatuta. Azken horri dagokionez, balio hau du:

$$R = (F_1 + F_2) \cdot cos(90° - \psi) \tag{15}$$

Ekuazio horretan, ψ-ren balioa (11b) ekuazioaren formulatik lortzen da. (6a) eta (6b) ekuazioak batuz:

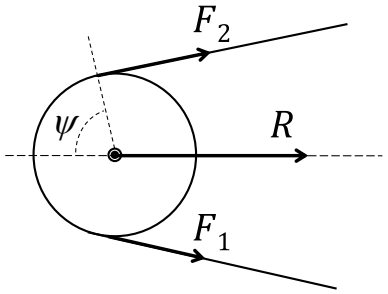
$$F_1 + F_2 = 2F_i + 2F_c \tag{16}$$

F_i-rekiko F_c indar zentrifugoa baztertuz eta (15) eta (16) ekuazioak konbinatuz:

$$R = 2F_i \cdot cos(90° - \psi) \tag{17}$$

Jakina, R-ren balio hori muntatutako N uhal kopuruaz biderkatu behar da.

BY NC SA



20. irudia. Ardatzaren gaineko R indar horizontala, uhalaren adarretako tentsioaren ondorioz. Egileen irudia.