

ÍNDEX DE CONTINGUTS

ANNEX C. Càlcul dels paràmetres principals	2
C.1. Consideracions prèvies.....	2
C.2. Càlcul dels paràmetres principals.....	2
C2.1. Càlcul a través de fórmules	3
C2.1.1. Relació de reducció	3
C2.1.2. Ample mínim d'apertura d'alimentació	3
C2.1.3. Llargada de l'apertura d'alimentació	4
C2.1.4. Angle de recepció	4
C2.1.5. Velocitat de funcionament	5
C2.1.6. Reglatge.....	6
C2.1.7. Capacitat de producció.....	8
C2.1.8. Potència necessària al motor	11
C2.1.9. Transmissió de la potència aplicada a l'eix excèntric.....	13
C2.2. Càlcul a través d'àbacs i taules	14
C.3. Càlcul del volant d'inèrcia i potència del motor.....	18

ANNEX C. Càlcul dels paràmetres principals

C.1. Consideracions prèvies

Considerarem:

- Una producció de 300 T/h
- Un diàmetre inicial $D_0=750\text{mm}$
- Un diàmetre de sortida $d_f=170\text{mm}$
- Una raó de reducció $R_r>4$
- Un angle de mossegada de 20°

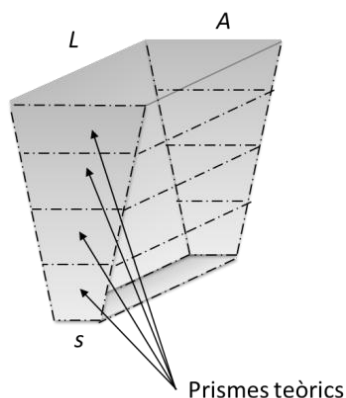
Amb la capacitat de producció i obertura d'admissió podem trobar la resta de paràmetres bàsics de la màquina, ja que són el punt de partida del dimensionat de la màquina. Per això cal triar-los des d'un inici en funció de les nostres necessitats. En aquest cas hem considerat que s'espera obtenir una producció aproximada de 300 tones per hora i un diàmetre inicial de la roca no major a 750mm.

C.2. Càlcul dels paràmetres principals

Per paràmetres principals s'entenen els que descriuen la cambra de trituració (amplada, longitud, alçada), i altres paràmetres com la velocitat de treball, el reglatge, la capacitat de producció, o l'angle de recepció.

Tots aquests paràmetres han d'anar lligats al volum de la cambra de trituració (per exemple, com més volum menor pot ser la velocitat). Els paràmetres que necessitem poden obtenir-se mitjançant formules empíriques, o també mitjançant taules, àbacs i catàlegs d'altres fabricants per tal de poder tenir una idea de partida. En el fons les taules i àbacs s'obtenen d'aplicar les formules per a un ventall de valors, però en moltes ocasions faciliten una més ràpida obtenció dels paràmetres aprofitant l'experiència d'altres fabricants.

Podem entendre com a cambra de trituració el volum que es forma entre les dues mandíbules i els límits laterals i que formen una figura cònica, però amb les bases en forma de rectangle. Es pot dividir la cambra en unitats de volum, de forma prismàtica, de tal manera que el volum de la primera unitat a la boca d'entrada és igual al volum de l'últim prisma a la boca de sortida. L'últim prisma es troba determinat per l'obertura de la mandíbula de manera que la projecció vertical de la base superior coincideix amb el límit inferior de l'apertura.



Aquests volums corresponen al descens de material en el cicle d'oscil·lació de la mandíbula i és necessari evitar que la roca formi un bloc únic, al fragmentar-se i omplir els forats existents en l'alimentació, i es bloquegi per tant l'equip. En cas que es formés aquest bloc la màquina trencarà el fusible.

Hi ha una relació directa entre la secció de la boca d'entrada, l'angle que formen les mandíbules, el desplaçament i la velocitat de gir per evitar el bloqueig de l'equip. A l'etapa de disseny cal actuar amb especial cura sobre paràmetres tals com l'angle α , la curvatura de les mandíbules, la limitació d'admissió, velocitat de rotació del volant, disseny dels punts d'ancoratge de les plaques d'arriostament, etc. L'objectiu ha de ser aconseguir un funcionament el més continu possible i evitar bloquejos.

Figura A3.1. Prismes teòrics.

C2.1. Càlcul a través de fórmules

Mitjançant aquests càlculs, que són formules provinents d'experiments empírics formulades per diferents investigadors, aconseguirem trobar les mides aproximades de la cambra de trituració de la màquina per tal d'obtenir la producció desitjada.

C2.1.1. Relació de reducció

Entenem com a relació de reducció la relació que hi ha entre el diàmetre inicial de la pedra i el de sortida, i es pot expressar per tant mitjançant la següent relació:

$$R_r = \left(\frac{D_{màx.alim.}}{d_{màx.prod.}} \right) \quad \text{Equació 1.1}$$

Una mateixa màquina pot obtenir un ventall de relacions de reducció (donat que es pot variar l'obertura de sortida de la cambra de trituració).

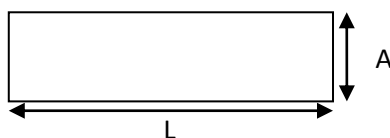
Calculem la relació de reducció per al nostre cas:

$$R_r = \left(\frac{D_{màx.alim.}}{d_{màx.prod.}} \right) = \frac{750}{170} = 4,4 \quad \text{Resultat 1.1.}$$

C2.1.2. Ample mínim d'apertura d'alimentació

La boca d'admissió d'una trituradora queda definida per les dimensions de l'ample de la boca (A) i la longitud de la boca (L). Per tal de no tenir problemes amb l'entrada de fragments grans a la trituradora, s'ha de complir que el diàmetre màxim de la pedra sigui un 15% menor a l'amplada de la boca:

$$A = D_{màx.alim.}/0.85 \quad \text{Equació 1.2}$$



Això també s'explica per motius de seguretat en el dimensionament de l'ample mínim, per tal d'evitar embussaments o projeccions de roques.

Per al cas que ens ocupa, doncs, tindrem que:

$$A = \frac{D_{màx.alim.}}{0.85} = \frac{750}{0.85} = 882,35 \approx 885 \text{ mm} \quad \text{Resultat 1.2}$$

C2.1.3. Llargada de l'apertura d'alimentació

Acostuma a ser entre 1 i 1,5 vegades l'ample d'apertura d'alimentació:

$$L = [1..1,5] \cdot A \quad \text{Equació 1.3}$$

Aquesta mida es pot trobar de forma experimental, tal com es veurà en la propera secció.

Prenent el valor abans trobat per l'ample, i escollint la forma més rectangular:

$$L = 1,5 \cdot A = 1,5 \cdot 885 = \mathbf{1327,5 \text{ mm}} \quad \text{Resultat 1.3}$$

C2.1.4. Angle de recepció

Les accions i les reaccions sobre el bloc a triturar determinaran la fragmentació del mateix, i la circulació de les partícules triturades, per això l'angle que formen les mandíbules té gran importància de cares a minimitzar la projecció de roques a fora de la màquina. També és un paràmetre que influeix en les r.p.m., i per tant en la capacitat de trituració.

L'efecte de la pressió de les mandíbules sobre el bloc a triturar (per a l'estudi teòric es considera esfèric de radi r) crea unes reaccions del bloc sobre la mandíbula. Aquestes reaccions es descomponen en una component perpendicular a la mandíbula, F , i una altra en direcció a la mandíbula, T .

El fregament del roc sobre la mandíbula és proporcional a la força perpendicular que actua sobre ella i es determina mitjançant l'expressió $R = \mu \cdot F$. A més es relaciona amb la tangent de l'angle característic o angle propi dels materials: $\mu = \tan(\varphi)$. L'angle propi és l'angle del pla inclinat pel qual s'arriba al valor màxim d'inclinació abans d'iniciar el desplaçament.

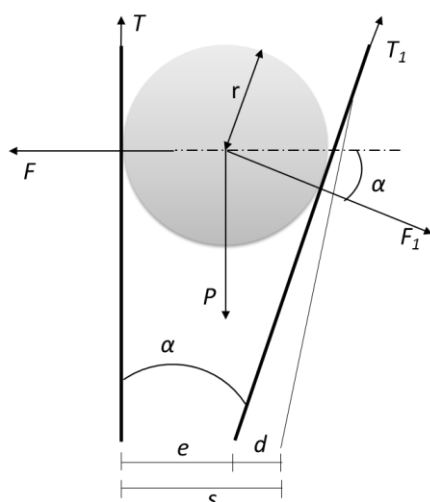


Figura A3.2. Esquema mandíbula.

El coeficient de fregament entre pedra i acer (o de fregament), μ , varia entre 0,2 i 0,4.

L'angle φ pren valors entre 11° i 17° .

La força de fregament que impedeix que el bloc sigui llançat cap a fora per les components T i T_1 han de ser més grans o com a mínim iguals al fregament. Per tant, per evitar el rebuig:

$$a) \quad R = \mu \cdot F \geq T$$

$$b) \quad R_1 = \mu \cdot F_1 \geq T_1 \quad \text{En el cas límit } T = T_1$$

El sistema de forces que actua sobre l'equip es pot traduir com:

$$\sum F_{verticals} = 0 ; \quad \sum F_{horizontals} = 0 ; \quad \sum M = 0$$

De l'equació de moments: $T \cdot r = T_1 \cdot r \Rightarrow T = T_1$

També tenim: $R = \mu \cdot F = T$ i $R_1 = \mu \cdot F_1 = T_1 \Rightarrow F = F_1$

I del plantejament de l'equilibri de les forces horitzontals:

$$F - T_1 \cdot \sin(\alpha) - F_1 \cdot \cos(\alpha) = 0 \Rightarrow F - \mu \cdot F_1 \cdot \sin(\alpha) - F_1 \cdot \cos(\alpha) = 0 \Rightarrow F - \mu \cdot F \cdot \sin(\alpha) - F \cdot \cos(\alpha) = 0$$

D'on podem dir que: $\mu = (1 - F \cdot \cos(\alpha)) / \sin(\alpha)$

Aplicant les igualtats trigonomètriques:

$$\sin^2 \beta = (1 - \cos(2\beta)) / 2; \cos^2 \beta = (1 + \cos(2\beta)) / 2$$

Podem expressar el coeficient de fregament com:

$$\mu = (1 - F \cdot \cos(\alpha)) / \sin(\alpha) = 2 \cdot \sin^2(\alpha/2) / (2 \cdot \sin(\alpha/2) \cdot \cos(\alpha/2)) = \sin(\alpha/2) / \cos(\alpha/2) = \tan(\alpha/2)$$

Si tenim en compte que el coeficient de fregament té com a equivalent la tangent de l'angle propi, tenim que l'angle format per les mandíbules en la seva posició més tancada ha de ser inferior a dues vegades l'angle propi, que és el que defineix el fregament entre el mineral i l'acer de la mandíbula:

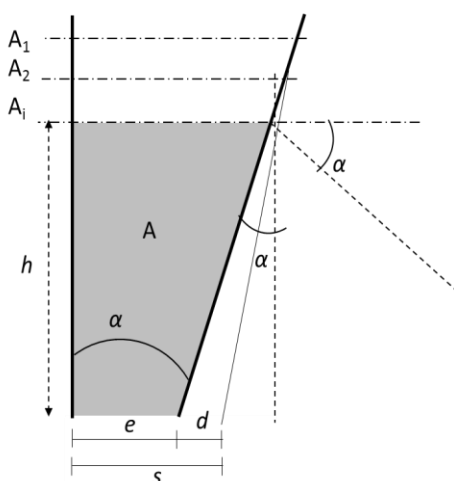
$$\mu = \tan(\alpha/2) = \tan(\varphi) \Rightarrow \alpha = 2\varphi$$

α , tenint en compte els valors de φ abans esmentats, prendria un valor entre 22° i 34°, però a la pràctica el màxim és 26°. Els fabricants, però, recomanen que l'angle màxim entre mandíbules no superi els 24°, prenent com a habituals 20°-22°.

Per altra banda la mateixa expressió ($\alpha = 2\varphi$) s'obté si plantejem l'equilibri de forces vertical i menyspreem el pes P de la partícula, la qual cosa es raonable comparant aquest pes P amb les forces que intervenen en la fragmentació.

C2.1.5. Velocitat de funcionament

La velocitat de funcionament varia en funció de l'angle d'admissió de la mandíbula i el recorregut que aquesta efectua. La càrrega dins la trituradora es desplaça en direcció vertical per efecte de la gravetat. A banda, hi ha el moviment forçat pel moviment de les mandíbules, que és més acusat en les de simple efecte, descrivint una el·lipse en el seu moviment (amb component tant vertical com horitzontal).



La mandíbula en posició tancada fa que observem una apertura amb lateral de llargada e, i que en l'apertura màxima de la mandíbula té llargada s.

L'eix excèntric gira n r.p.m., per tant el temps en realitzar el moviment d es de mitja volta, i podem escriure:

$$T = 30/n \quad [s]$$

Per altra banda, el material es desplaça de forma uniformement accelerada on:

$$a = g = 9,81 \quad [m/s^2]$$

Figura A3.3. Esquema mandíbula 2.

Per tant, sabent que l'alçada de la cambra de trituració és h , el temps que trigarà el material en recórrer aquesta distància el podem aïllar de:

$$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot T^2 \quad [m]$$

Per trigonometria podem escriure:

$$h = \frac{d}{\tan(\alpha)} \quad [m]$$

Aleshores:

$$\frac{d}{\tan(\alpha)} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot T^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \left[\frac{30}{n} \right]^2$$

D'on podem finalment aïllar:

$$n = 664,4 \cdot \sqrt{\frac{\tan(\alpha)}{d}} \quad [m] \quad \text{Equació 1.4}$$

Per tant si s'augmenta el recorregut de mandíbula mòbil s'han de disminuir les revolucions, i en cas de fer menor el recorregut cal augmentar la velocitat de gir. Per tant podem determinar l'ample de boca d'admissió relacionant-ho amb la velocitat de gir de l'excèntrica.

El càlcul de la velocitat per al nostre cas:

$$n = 664,4 \cdot \sqrt{\frac{\tan(\alpha)}{d}} = 664,4 \cdot \sqrt{\frac{\tan(20)}{3}} = 231,42 \simeq \mathbf{250} \quad [r.p.m] \quad \text{Resultat 1.4}$$

C2.1.6. Reglatge

El reglatge no és més que les diferents apertures s que pot tenir una trituradora per tal de obtenir diferents diàmetres de material de sortida.

Es pot extreure el seu valor a partir de les següents gràfiques i taules.

Primerament necessitem determinar el percentatge de pas per una malla quadrada, a partir de la següent taula:

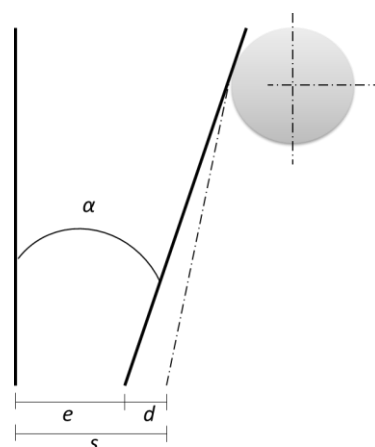


Figura A3.4. Esquema mandíbula 3.

Trituradora	Alimentació	Granit	Calcaria	Quarz
Blake	Tot-un de pedrera	70-75	85-90	65-70
Blake	Amb reixa fixa prèvia	65-70	80-85	60-65
Blake	Cribat amb compte	60-70	75-80	55-60
Simple efecte	Cribat amb compte	70-75	80-85	60-65
Giratòria primària	Tot-un pedrera	75-80	85-90	65-70
Giratòria primària	Amb reixa fixa prèvia	70-75	80-85	60-65
Giratòria secundària	Cribat amb compte	80-85	85-90	75-80
Giratòria secundària alta velocitat	Cribat amb compte	65-70	70-75	65-70

Taula A3.1. Percentatge de pas per una malla quadrada igual al reglatge dels productes de trituració.

En el nostre cas triem $d_{80}=80$ donat que es tracta d'una trituradora de simple efecte i roca calcària.

En segon lloc podrem, a partir del valor obtingut de la taula anterior, prendre el valor del % de pas per una malla quadrada gracies a la corba granulomètrica següent:

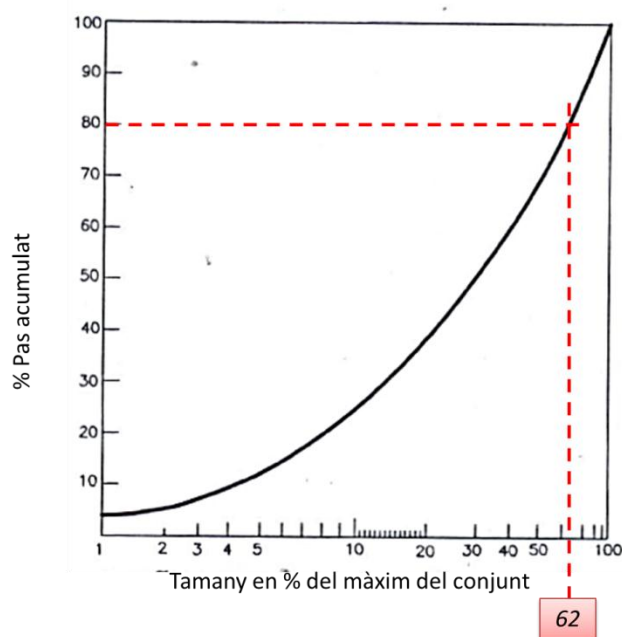


Figura A3.5. Corba granulomètrica típica de productes de les trituradores de mandíbules

Per tant $\%d_{\max}=62$

Com hem considerat un diàmetre màxim de 200mm, tenim que d_{\max} de sortida és:

$$d_{\max} = \frac{d_f}{\%d_{\max.}} = \frac{200}{0.62} = 322.58 \text{ mm}$$

Ara mirem el % per una malla igual a la regulació i tenim que per un d_{80} , el tamany màxim, en %, que passarà per la malla és de, a partir de taules tabulades, 38:

A.-	Trituradora de mandíbulas
B.-	Trituradora de martillos
C.-	Trituradora de cilindros lisos en circuito abierto
D.-	Trituradora de cilindros lisos en circuito cerrado
E.-	Trituradora de cilindros dentados
Ejemplo de uso: En una trituradora de mandíbulas (A) el 82% del producto triturado pasa por una malla cuadrada de tamaño 65% del valor d_{max}	

Análisis granulométrico de los productos triturados						
% d_{max}	% en pasantes					% d_{max}
	A	B	C	D	E	
1	4	3	2	1	2	1
2	6	4	3	1	3	2
4	13	8	6	2	6	4
7	20	13	10	3	10	7
10	26	18	14	6	14	10
15	33	24	20	11	20	15
20	41	31	25	19	27	20
25	48	37	29	32	35	25
30	54	45	33	48	42	30
35	59	51	37	60	48	35
40	64	57	42	73	55	40
45	68	62	46	79	61	45
50	72	68	51	84	67	50
55	75	72	55	87	72	55
60	79	78	60	89	78	60
65	82	82	65	91	86	65
70	85	86	70	93	93	70
75	87	90	75	95	96	75
80	90	94	80	96	97	80
85	92	96	85	97	98	85
90	95	98	90	98	99	90
95	98	99	95	99	99	95
100	100	100	100	100	100	100

Corbes generals corresponents a la distribució granulomètrica per a diferents tipus de trituradores. Es dona el % de passants per al tamany donat el producte tritura. El tamany de producte es referència, en %, al tamany màxim possible amb la regulació de l'equip.

El reglatge doncs és:

$$s = d_{m\grave{a}x} \cdot \frac{\%d_{m\grave{a}x}}{100}$$

$$= 322,58 \cdot 38/100$$

$$= 122,58 \text{ mm}$$

C2.1.7. Capacitat de producció

És la capacitat de producte que és capaç d'evacuar la trituradora per unitat de temps. Està estretament lligada als paràmetres físics de disseny de l'equip, la seva forma de treballar, etc.

El fonament teòric comú a totes les màquines per tal de triar la capacitat de producció correspon a la capacitat de la màquina d'evacuar l'últim prisma teòric format en funció de la velocitat de rotació del volant i per tant el moviment d'oscil·lació de les mandíbules provocat pel volant.

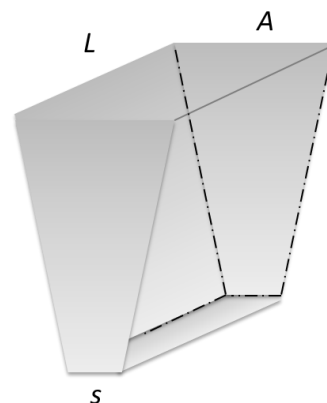


Figura A3.6. Esquema cambra de trituració.

Usarem la fórmula de Giesking:

$$C = f \cdot a \cdot u \cdot s \cdot d \cdot L \cdot n \cdot \rho_a \left[\frac{t}{h} \right] \quad \text{Equació 1.5}$$

On:

- f : coeficient d'utilització

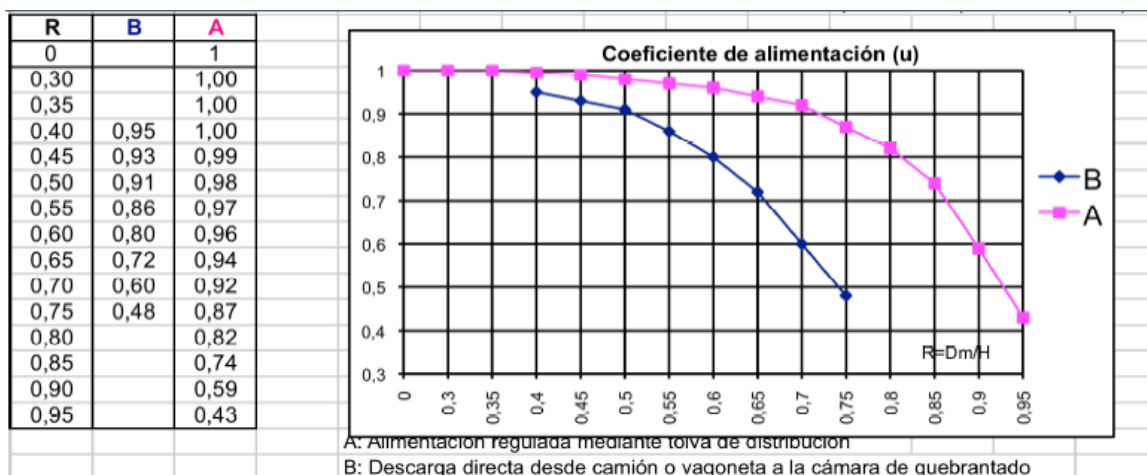
Naturaleza de la alimentación	Mandíbulas lisas	Mandíbulas acanaladas
Con finos normales (tamaño menor que el reglaje de la máquina)	0,00014	0,00011
Con los finos eliminados (mediante un precribador)	0,00013	8,8E-05
Cuidadosamente cribados (con criba)	0,00011	7,2E-05
u.- Coeficiente de alimentación	R = Dmax / H ;	H = profundidad de la cámara de quebrantado (abertura superior)

Nota: Desviación respecto al coeficiente teórico de 0,00015 (no utilizar en los cálculos)

- α : coeficient lligat a l'angle d'admissió (α , en $^{\circ}$)

$$\alpha = 1 + 0,03 \cdot (26 - \alpha)$$

- u : factor lligat al coeficient d'alimentació



- s : reglatge (cm)
- d : recorregut (cm)
- L : longitud de la boca (cm)
- n : velocitat (r.p.m)

$$n = 664 \cdot \sqrt{\tan(\alpha)/d}$$

- p_a : $p \cdot \mu$ (p : densitat real; $\mu=0,6$)

La densitat mitja i aparent d'alguns materials miners a granel és:

Mineral roca	Densitat $[t/m^3]$	Densitat aparent $[kg/m^3]$
Barita	4,5	2,725
Basalt	2,7-3,2	1600
Carbons	L:1,1-H-A:1,8	640-960
Clinker	3,1-3,2	1520
Coke	1,2	370-515
Calcaria	2,46-2,84	1550

Granit	2,15-3,05	1400-1600
Guix	2,32	1360
Magnetita/Hematites	5,18/5,26	2000-2400
Sílex	2-2,65-3	1600
Magnesita	3-3,48	1600
Porfido	2,4-2,8	1600
Quartz	2,5-2,8	1520
Talc	1-1,5	1520

Taula A3.2. Densitat mitja aparent d'alguns materials a granel.

Calculem la capacitat de producció de la nostra màquina:

$$C = f \cdot a \cdot u \cdot s \cdot d \cdot L \cdot n \cdot \rho_a \left[\frac{t}{h} \right]$$

El valor del coeficient d'utilització f , el prenem de la taula A3.2., considerant que l'alimentació ja prové d'una Criba cuidadosa:

$$f = 0,00011$$

El coeficient a , tenint en compte que hem triat un angle $\alpha=20^\circ$:

$$a = 1 + 0,03 \cdot (26 - \alpha) = 1,18$$

El factor μ el trobem de la corba on s'explica el mateix paràmetre, tenint en compte que prendrem la corba A ja que considerem que l'alimentació ve d'una tolva de distribució i no pas directament descarregada d'un camió o vagoneta.

També cal considerar quin valor obtenim per a R , recordant que hem considerat que el diàmetre inicial, D_0 , és de 750mm, i prenent una alçada de la cambra de 1950mm:

$$R = D_m/H = 750/1950 = 0,38$$

Per tant, interpolant els valors que tenim de la corba:

$$\mu = 0,998$$

El reglatge, tal i com s'ha calculat anteriorment, és: $s=12,268$ cm.

El recorregut és $d=3$ cm.

La longitud de la boca $L=132,7$ cm.

La velocitat calculada anteriorment és de: $n=250$ r.p.m.

La densitat aparent la podem prendre de la taula A3.2: $\rho_a=2,84 \cdot 0,6=1,7$ t/m³

Per tant amb totes les dades anterior obtenim:

$$C = f \cdot a \cdot u \cdot s \cdot d \cdot L \cdot n \cdot \rho_a \left[\frac{t}{h} \right]$$

$$C = 0,00011 \cdot 1,18 \cdot 0,998 \cdot 12,268 \cdot 3 \cdot 132,7 \cdot 250 \cdot 1,7 = \mathbf{268,9} \left[\frac{t}{h} \right] \quad \text{Resultat 1.5}$$

C2.1.8. Potència necessària al motor

La següent fórmula, anomenada fórmula de Bond, s'utilitza per al primer càlcul de la potència necessària d'accionament de màquina per tal d'obtenir la reducció de tamany desitjada en un 80% del material Cribat.

$$W_B = 10 \cdot W_i \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right] KW \cdot h/Tona \quad \text{Equació 1.6}$$

On d_{80} i D_{80} en micres.

$$P = W_B \cdot T \cdot F_s \quad KW \quad \text{Equació 1.7}$$

On T està expressat en tones per hora i F_s és el coeficient de funcionament.

Amb aquesta fórmula trobem la potència per tal de fer la nostra reducció de tamany en funció de les tones desitjades, que no vol dir que sigui la potència necessària per moure la màquina.

Podem fer servir coeficients de seguretat i majoració per tal d'adaptar la fórmula a les condicions reals de treball a més de relacionar el paràmetre de productivitat desitjada. F_s pot prendre els valors:

Valor F_s	Tipus de Trituradora
1	Teòrica base
2	Trituradora de mandíbules
1,6	Trituradora gircito i de presició
1,3	Contritradados tritura cilindre
1,3	Molins de barres i de boles

Taula A3.3. Valor F_s en funció del tipus de trituradora.

Pel que fa als índex de treball de molta segons Bond, depenen de la densitat relativa o el pes específic del material al qual ens estiguem referint podem trobar el seu valor recollit en taules. A les taules següent hi podem trobar els índexs de treball:

Material	Densidad Relativa	Índice de Trabajo (Wi)
Bauxita	2.2	8.78
Clinker de ciment	3.15	13.45
Mat. primeres de ciment	2.67	10.51
Argila	2.51	6.3
Carbó	1.4	13
Coc	1.31	15.13
Granit	2.66	15.13
Grava	2.66	16.06
Mineral de yeso	2.69	6.73
Mineral de ferro	3.53	12.84
Pedra calcària	2.66	12.74
Mineral de fosfat	2.74	9.92
Quars	2.65	13.57
Esquist	2.63	15.87
Pissarra	2.57	14.3
Basalt	2.87	19.32

Taula A3.4. Índex de treball i densitat relativa per alguns materials.

Material	Pes específic	Índex de treball
Bauxita	2,38	9,45
Clinker de ciment	3,09	13,49
Cru per a ciment	2,67	10,57
Argila	2,23	7,10
Argila calcinada	2,32	7,43
Carbó	1,63	11,37
Dolomita	2,82	11,31
Guix natural	2,69	8,16
Calcaria per a ciment	2,68	10,18
Magnesita calcinada	5,22	16,80
Sorra	2,68	11,53
Escòries d'habitatge	2,93	15,76
Escòries d'alts forns	2,39	12,16

Taula A3.5. Índex mig de treball de mòlta segons Bond.

Com es pot observar, els valors d'una i altra taula varien en funció de qui realitzés l'experiment per tal d'extreure'n el valor.

Per al nostre cas:

$$W_B = 10 \cdot W_i \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right] \left[KW \cdot \frac{h}{t} \right] = 10 \cdot 12,74 \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{170000}} - \frac{1}{\sqrt{800000}} \right] = 0,167 \quad \text{Resultat 1.6}$$

$$P = W_B \cdot T \cdot F_s \quad [KW] = 0,167 \cdot 212 \cdot 2 = \mathbf{70,62 \text{ KW}} \quad \text{Resultat 1.7}$$

Càlcul de diferents produccions

Es poden calcular diferents valors de producció donats diferents valors de diàmetre de sortida desitjat, d_f . Havent definit un diàmetre final de 200mm, podem definir també que el ventall de diàmetres de sortida pugui anar de 165 a 235 mm.

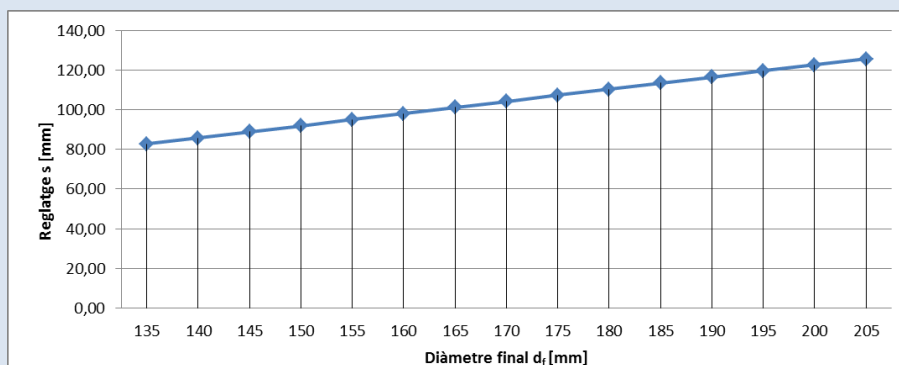
$$d_{m\grave{a}x} = d_f / \%d_{m\grave{a}x}, \text{ amb } \%d_{m\grave{a}x}=0,62, d_{m\grave{a}x} = d_f / 0,62$$

I el reglatge es pot expressar com:

$$s = d_{m\grave{a}x} \cdot \%d_{m\grave{a}x} / 100 = d_{m\grave{a}x} \cdot 38 / 100 = d_f \cdot 0,38 / 0,62$$

Aplicant aquesta relació, extraiem la corba següent:

df (mm)	s (mm)
135	82,74
140	85,81
145	88,87
150	91,94
155	95,00
160	98,06
165	101,13
170	104,19
175	107,26
180	110,32
185	113,39
190	116,45
195	119,52
200	122,58
205	125,65

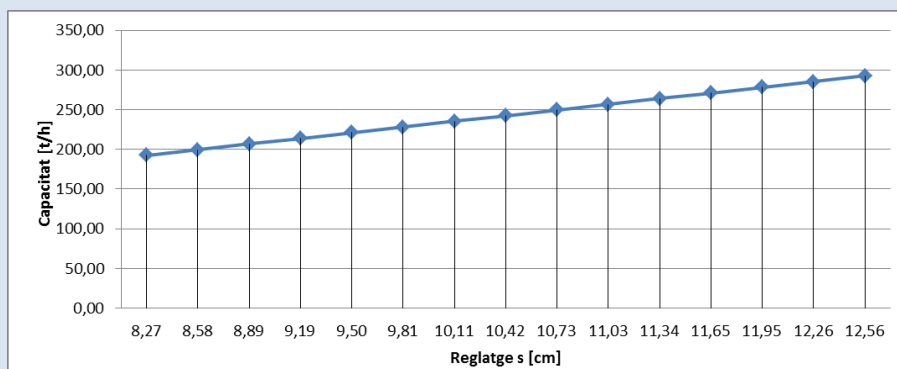


D'aquesta manera podem calcular el rang de capacitats resultants:

$$C = f \cdot a \cdot u \cdot s \cdot d \cdot L \cdot n \cdot \rho_a \left[\frac{t}{h} \right]$$

$$C = 0,00011 \cdot 1,18 \cdot 0,998 \cdot s \cdot 3 \cdot 141 \cdot 250 \cdot 1,7 = 23,28 \cdot s \left[\frac{t}{h} \right]$$

s (cm)	C (t/h)
8,27	192,62
8,58	199,76
8,89	206,89
9,19	214,03
9,50	221,16
9,81	228,29
10,11	235,43
10,42	242,56
10,73	249,70
11,03	256,83
11,34	263,97
11,65	271,10
11,95	278,23
12,26	285,37
12,56	292,50



C2.1.9. Transmissió de la potència aplicada a l'eix excèntric

El treball efectuat és igual al producte entre la força i l'espai recorregut per efecte d'aquesta: $T=F \cdot e$, on el treball s'expressa en N/m, la potència en N i l'espai en metres.

El treball en un gir complet pot, al mateix temps, expressar-se com:

$$T=F \cdot 2 \cdot \pi \cdot p$$

on p és l'excentricitat.

La potència en Watt és el treball entre el temps: $W=T/t$. Per tant podem escriure: $W=P \cdot 2 \cdot p/t$, on el valor de t , expressat en segons, en una revolució quan es gira a n r.p.m. és de $t=60/n$, i substituint a l'expressió anterior:

$$P=60 \cdot W/2 \cdot \pi \cdot p \cdot n=9,55 \cdot W/p \cdot n$$

Tenint en compte:

- P: força de tracció sobre la biela (N)
- W: potència sobre l'eix de la trituradora (W)
- p: excentricitat (m)
- n: r.p.m.

$$P = 9,55 \cdot W / p \cdot n \text{ (KW)} \quad \text{Equació 1.8}$$

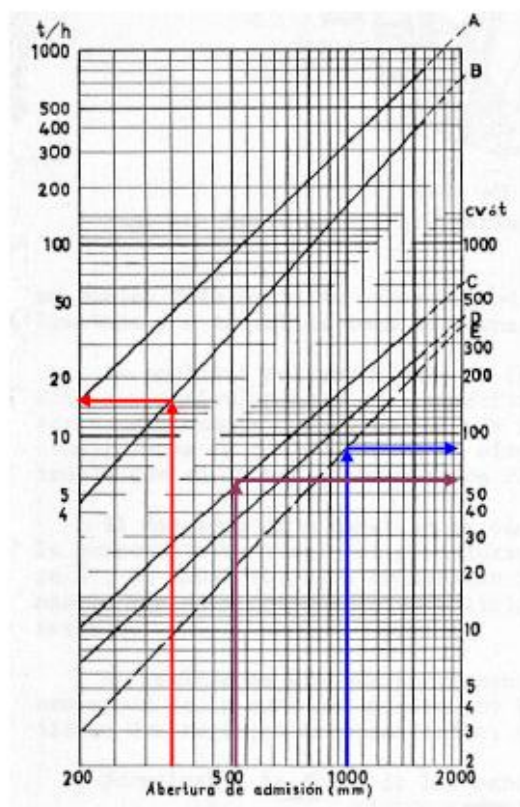
En el nostre cas doncs, la força de tracció sobre la biela és:

$$P = 9,55 \cdot 70620 / 0,03 \cdot 250 = 89.922,8 \text{ N} \approx \mathbf{9.000 \text{ Kg} = 9T} \quad \text{Resultat 1.8}$$

C2.2. Càlcul a través d'àbac i taules

Partim de les mateixes consideracions prèvies. Primer considerarem els dos paràmetres bàsics que podem conèixer de primera mà; un la producció desitjada i l'altre el $D_{màx.}$: $C = 300 \text{ T/h}$, $D_{màx.} = 750 \text{ mm}$. Amb l'ajut de l'àbac de la figura A3.3 trobem la potència necessària del motor.

Segons l'àbac, per a una producció de 300 T/h i una relació de reducció $R_r = 4$, necessitem una apertura de 950 mm ; en canvi, per a una mateixa producció i una $R_r = 8$ necessitem una apertura de 1200 mm .



- A: Capacitat (t/h) per a un reglatge igual a $\frac{1}{4}$ A.
- B: Capacitat (t/h) per a un reglatge igual a $\frac{1}{8}$ A.
- C: Potència instal·lada màxima en CV.
- E: Pes de la trituradora en t.

Figura A3.7. Àbac de característiques.

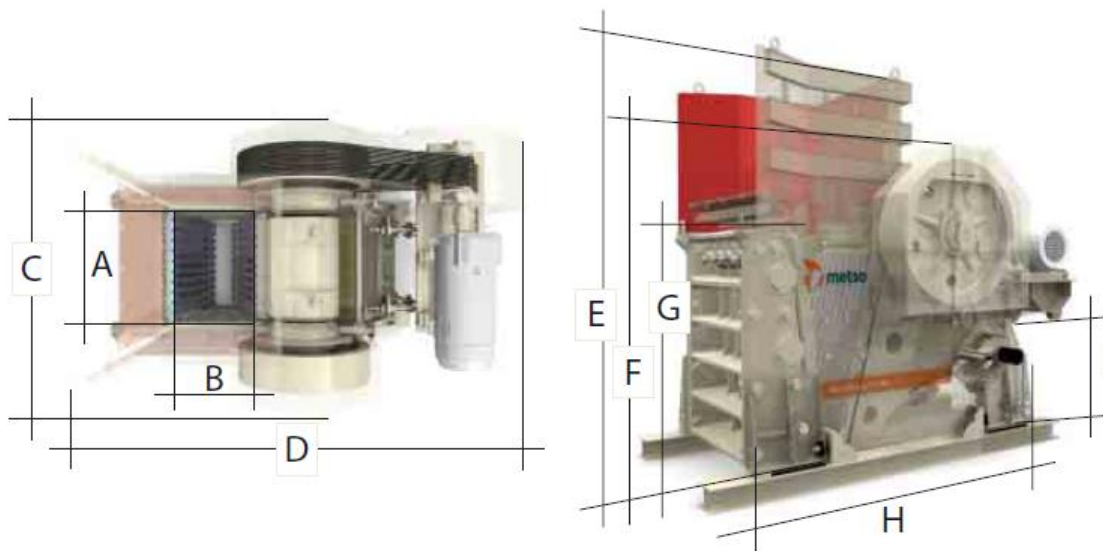
Per al nostre cas, ens quedem amb l'apertura de 950 mm. Amb l'àbac a partir de l'apertura trobem la potència mitja, que és de 110 CV, o 81KW.

A partir d'aquests valors bàsics:

- Producció 300T/h
- 81KW de motor
- Relacó de reducció 4
- Apertura mínima de 950mm

És ara directe mirar a qualsevol catàleg de fabricant i triar el model més adient per a les nostres necessitats. En el nostre cas triem el model C-125 del catàleg de MetsoMinerals. És un model lleugerament superior a les nostres necessitats, cosa recomanable. En aquest mateix catàleg trobem totes les mides necessàries per al disseny de la màquina.

Aquest mètode no exclou l'anterior, usant les fórmules, si no tot el contrari; és un bon mètode per validar els càlculs fets a l'hora que s'aprofita l'experiència i estudis realitzats per altres fabricants abans que nosaltres.



Dimensiones y pesos

		C95	C105	C80	C100	C3054	C110	C125	C140	C145	C160	C200
A	mm	930	1060	800	1000	1375	1100	1250	1400	1400	1600	2000
B	mm	580	700	510	760	760	850	950	1070	1100	1200	1500
C	mm	1755	2030	1526	2420	2640	2385	2800	3010	3110	3700	4040
D	mm	2880	3320	2577	3670	3540	3770	4100	4400	4600	5900	6700
E	mm	1610	2075	1990	2890	2470	2890	3440	3950	4100	4580	4950
F	mm	1460	2005	1750	2490	2470	2750	2980	3140	3410	3750	4465
G	mm	755	1135	1200	1700	1080	1940	2100	2260	2430	2650	2800
H	mm	2500	2630	2100	2965	2950	2820	3470	3755	3855	4280	4870
I	mm	465	700	625	775	690	580	980	1050	1050	1300	1400
Peso de la trituradora básica	kg	9 759	14 350	7 670	20 060	25 900	25 800	37 970	48 250	55 800	71 330	121 510
Peso de la trituradora en operación	kg	11 870	17 050	9 520	23 300	30 300	29 500	43 910	55 600	65 000	83 300	137 160

Los diagramas certificados de disposición general, cimentación y requisitos de espacio para servicio técnico están disponibles a través de Metso Minerals.

Capacidades y especificaciones técnicas

		C95	C105	C80	C100	C3054	C110	C125	C140	C145	C160	C200
Anchura de la abertura de alimentación mm		930	1060	800	1000	1375	1100	1250	1400	1400	1600	2000
Profundidad de la abertura de alimentación mm		580	700	510	760	760	850	950	1070	1100	1200	1500
Potencia kW		90	110	75	110	160	160	160	200	200	250	400
Velocidad (rpm)		330	300	350	260	260	230	220	220	220	220	200
Tamaño del producto mm	Lado cerrado Reglaje mm	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h	t/h
0-30	20			*								
0-35	25	*	*	*								
0-45	30	*	*	*								
0-60	40	*	*	55 - 75	*	*	*					
0-75	50	*	*	65 - 95	*	*	*					
0-90	60	105 - 135	*	80 - 110	*	*	*					
0-105	70	125 - 155	135 - 175	95 - 135	125 - 175	210 - 270	160 - 220					
0-120	80	140 - 180	155 - 195	110 - 150	145 - 200	240 - 300	175 - 245	*				
0-135	90	160 - 200	175 - 225	125 - 175	160 - 220	260 - 330	190 - 275	*	*	*		
0-150	100	175 - 225	195 - 245	140 - 190	180 - 250	285 - 365	215 - 295	245 - 335	*	*	*	
0-185	125	220 - 280	245 - 315	175 - 245	220 - 310	345 - 435	260 - 360	295 - 405	325 - 445	335 - 465	*	*
0-225	150	265 - 335	295 - 375	210 - 290	265 - 365	405 - 515	310 - 430	345 - 475	380 - 530	395 - 545	430 - 610	*
0-260	175	310 - 390	345 - 435	245 - 335	310 - 430	465 - 595	350 - 490	395 - 545	435 - 605	455 - 625	495 - 695	630 - 890
0-300	200		390 - 500		355 - 490	530 - 670	405 - 555	445 - 615	495 - 685	510 - 710	560 - 790	710 - 1000
0-340	225							495 - 685	550 - 760	570 - 790	625 - 880	785 - 1105
0-375	250							545 - 755	610 - 840	630 - 870	685 - 965	865 - 1215
0-410	275									690 - 950	745 - 1055	940 - 1320
0-450	300										815 - 1145	1015 - 1435

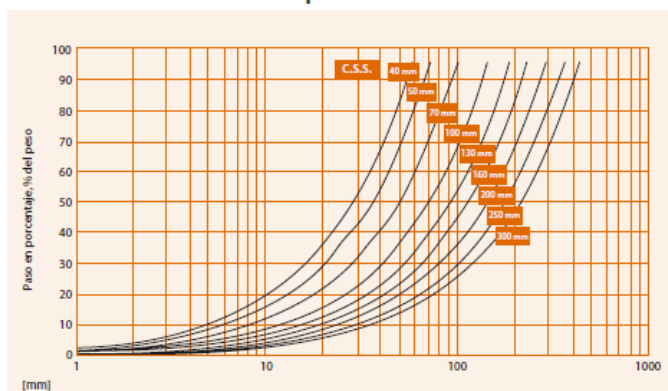
* Con frecuencia es posible utilizar reglajes del lado cerrado más reducidos, en función de la aplicación y los requisitos de producción. Póngase en contacto con Metso Minerals para recibir una estimación de rendimiento para su aplicación en concreto.

Las cifras anteriores se basan en un material de alimentación con una masa específica media de 2,7, con un tamaño máximo de alimentación que entra sin problemas en la cámara de trituración sin pasante y retirando el material menor al css (lado cerrado). Las capacidades pueden variar en función del método de alimentación y de características de alimentación como la granulometría, la densidad bruta, la humedad, el contenido de arcillas y la facilidad de trituración.

La medición del reglaje del lado cerrado de la trituradora varía en función del perfil de mandíbulas utilizado y afecta a la capacidad y la graduación del producto en la trituradora. Los factores siguientes permiten aumentar la capacidad y el rendimiento de la trituradora:

1. Selección adecuada de las mandíbulas.
2. Graduación correcta de la alimentación.
3. Velocidad de alimentación controlada.
4. Suficiente capacidad y anchura del alimentador.
5. Área de descarga adecuada para la trituradora.
6. Cinta transportadora de descarga dimensionada para transportar la máxima capacidad de la trituradora.

Graduación de productos indicativa



La trituradora de mandíbulas Nordberg C110 en una instalación fija.

Figura A3.8. Catàlegs consultats.

C.3. Càlcul del volant d'inèrcia i potència del motor

A continuació es descriu el mètode seguit per al càlcul de la inèrcia i de la potència del motor.

A partir d'un mecanisme simple que simula la mandíbula, primer n'extraiem el parell motor per tal de, a partir de les dades de la simulació, extraure el volant d'inèrcia.

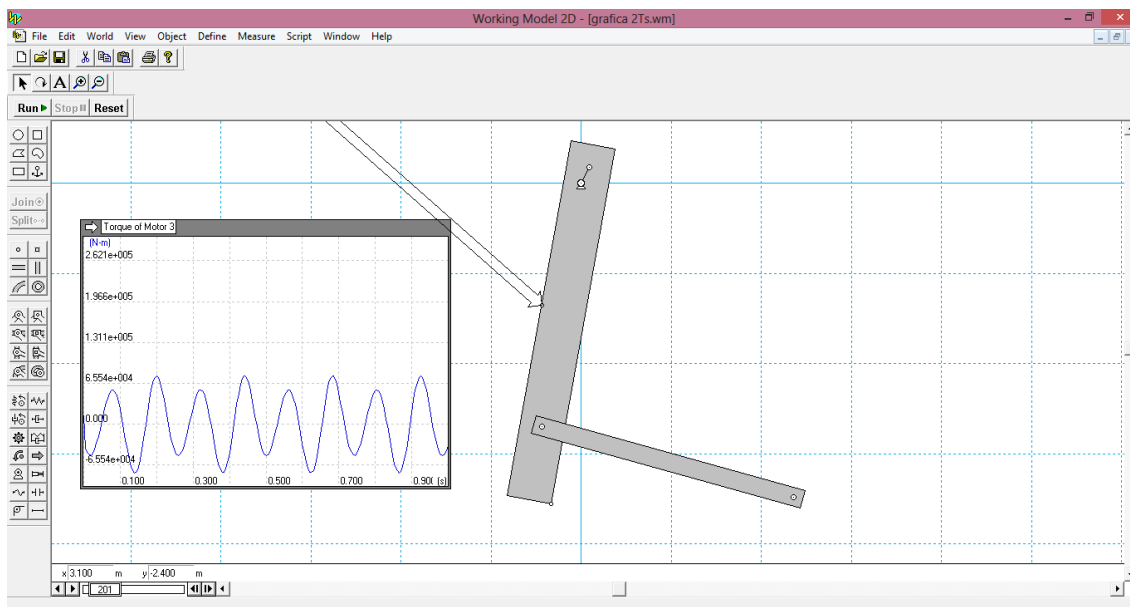


Figura A3.9. Captura de pantalla del simulador Working Model, usat per al càlcul del volant d'inèrcia.

De les dades de la simulació treballem amb un sol cicle. Amb aquestes dades obtindrem el paràmetre A que intervé en la fórmula aproximada de càlcul de volants d'inèrcia.

Primer de tot es pot calcular el parell mitjà que un motor hauria de proporcionar per a mantenir el cicle. Per a accionar el sistema amb un motor que donés parell constant al llarg del cicle, l'energia que hauríem de subministrar seria una integral, que, en aquest cas trivial sabem que és:

$$Energia = M_{motor \text{ promig}} \cdot T$$

On T és el període del cicle. Això equival a calcular el $M_{motor \text{ promig}}$ com el valor promig dels valors de M en el cicle que hem obtingut a la simulació.

També podem obtenir, tal com hem comentat, el paràmetre A; o energia variable màxima acumulada en el sistema. Aquest paràmetre s'obté integrant l'increment de parell motor ΔM i s'ha d'emprar en la fórmula del disseny del volant d'inèrcia.

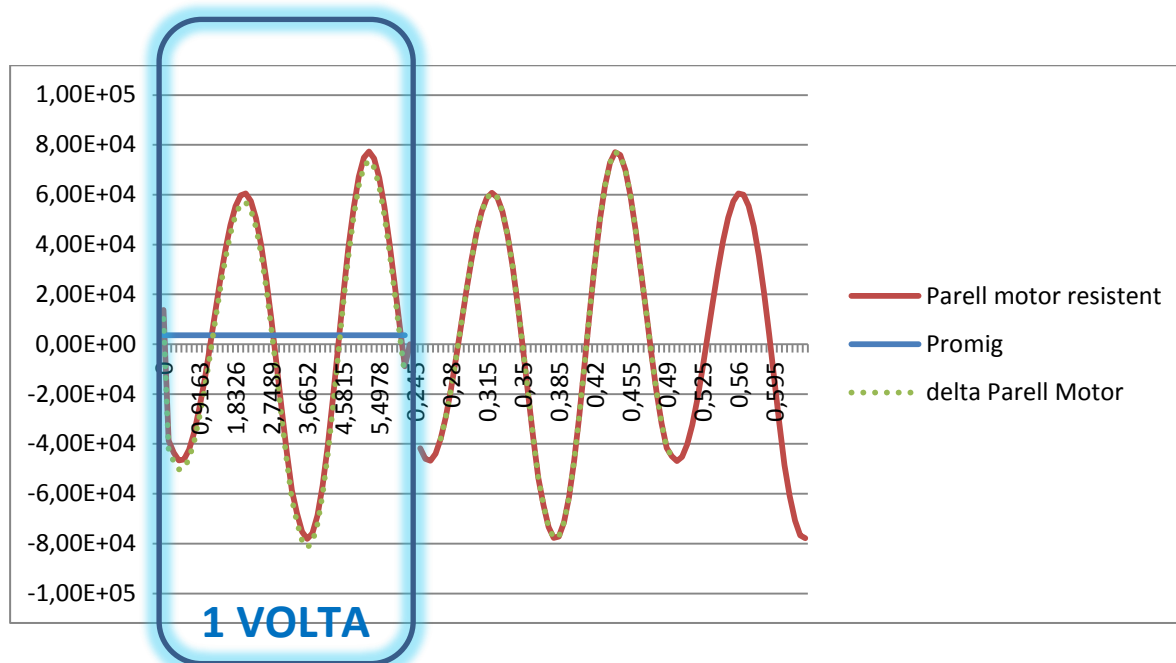


Figura A3.10. Resultat de la simulació.

Després de realitzar un estudi realitzant diferents simulacions considerant diferents forces aplicades a la mandíbula (4T, 10T, 40T, 400T) s'ha decidit prendre com a força aplicada 10T, ja que és la força aplicada que resulta en una potència semblant (del mateix ordre de magnitud) que la calculada anteriorment a 1.1.1.8..

El valor del Parell motor promig en una volta és 3.572,277. La velocitat considerada del volant d'inèrcia és 26 rad/s, a partir de la velocitat de funcionament calculada a l'apartat 1.1.1.5. (resultat 1.4.): $250\text{rpm} = 250 \cdot 2 \cdot \pi / 60 \approx 26 \text{ rad/s}$.

Per tant la potència es pot calcular com:

$$\text{Energia } (J = W \cdot s = N \cdot m) = M_{\text{motor promig}} (N \cdot m) \cdot T(s)$$

$$\text{Potència } \left(W = \frac{J}{s} \right) = M_{\text{motor promig}} (N \cdot m) \cdot \omega \left(\frac{\text{rad}}{s} \right) \quad \text{Equació 1.9}$$

En el nostre cas:

$$\text{Potència} = 3.572,277 \cdot 26 = 92,88 \text{ KW} \quad \text{Resultat 1.9}$$

Per tant, prendrem un motor de 90KW, ja que a l'apartat 1.1.1.8, hem obtingut 70,62KW (resultat 1.7) i per tal de tenir marge i una acceleració millor a l'arrencada de la màquina prenem, segons catàleg, un motor de 90KW. A la vegada els 92,88KW han estat obtinguts amb una simulació on la força aplicada a la mandíbula és 10T, cosa que coincideix amb el resultat obtingut al punt 1.1.1.9 on hem obtingut una força de 9T (resultat 1.8).

Per al càlcul del paràmetre A, cal fixar-se en els 4 punts en els quals intersequen el parell resistent i el parell motor promig, que són els punts en que el sistema està en equilibri instantani.

Prenent els punts on ΔM interseca amb el promig, apliquem el mètode de càlcul de integral discreta partint dels 4 punts esmentats:

1) Calculem, començant al primer punt, en una columna d'excel a part, la integral a partir del primer punt tal com:

a) Inicialitzem la integració:

$$Int(i) = \frac{(\Delta M(i) + \Delta M(i + 1))}{2} \cdot \Delta \phi$$

b) Continuem:

$$Int(i) = \frac{(\Delta M(i) + \Delta M(i + 1))}{2} \cdot \Delta \phi + Int(i - 1)$$

Essent ϕ l'angle girat en rad.

Fins a la darrera fila, on no tenim $\Delta M(i + 1)$, i per tant hi posarem el valor de la primera fila. Acumulant el valor d'aquest darrer punt al primer punt de la sèrie (primera fila), podem completar la taula fins just abans del primer punt calculat de la integral.

2) Farem el mateix pel segon, tercer i quart punts d'intersecció

El resultat és el següent:

Angle girat (rad)	Parell motor (N·m)	Parell motor promig	ΔM	Integral 1er punt	Integral 2on punt	Integral 3er punt	Integral 4art punt
0	1,38E+04	3.572,277	10.177,723	82871,85	30500,72	99100,99	38727,39
0,133735102	-3,87E+04	3.572,277	-42.232,277	76896,26	24525,13	93125,40	32751,80
0,267470205	-4,36E+04	3.572,277	-47.132,277	70384,40	18013,27	86613,54	26239,93
0,401205307	-4,67E+04	3.572,277	-50.252,277	63696,00	11324,87	79925,14	19551,53
0,53494041	-4,62E+04	3.572,277	-49.772,277	57301,15	4930,02	73530,29	13156,69
0,668675512	-4,23E+04	3.572,277	-45.862,277	51636,50	-734,64	67865,64	7492,03
0,802410615	-3,53E+04	3.572,277	-38.852,277	47084,52	-5286,61	63313,66	2940,05
0,936145717	-2,57E+04	3.572,277	-29.222,277	43954,14	-8416,99	60183,28	-190,32
1,06988082	-1,40E+04	3.572,277	-17.592,277	-1487,42	-9904,41	58695,86	-1677,75
1,203615922	-1,08E+03	3.572,277	-4.652,031	-1208,87	-9625,86	58974,41	-1399,20
1,337351024	1,24E+04	3.572,277	8.817,723	851,68	-7565,31	61034,96	661,36
1,471086127	2,56E+04	3.572,277	21.997,723	4600,64	-3816,35	64783,92	4410,32
1,604821229	3,76E+04	3.572,277	34.067,723	9838,07	1421,08	70021,35	9647,75
1,738556332	4,78E+04	3.572,277	44.257,723	16263,74	7846,75	76447,02	16073,41
1,872291434	5,54E+04	3.572,277	51.837,723	23489,14	15072,15	83672,42	23298,82
2,006026537	5,98E+04	3.572,277	56.217,723	31057,57	22640,59	91240,86	30867,25
2,139761639	6,05E+04	3.572,277	56.967,723	38467,53	30050,54	98650,81	38277,21
2,273496741	5,74E+04	3.572,277	53.847,723	45201,46	36784,47	105384,74	45011,14
2,407231844	5,04E+04	3.572,277	46.857,723	50757,18	42340,19	110940,46	50566,86
2,540966946	3,98E+04	3.572,277	36.227,723	54682,00	46265,01	114865,28	54491,68
2,674702049	2,60E+04	3.572,277	22.467,723	56605,29	48188,30	116788,57	56414,96
2,808437151	9,87E+03	3.572,277	6.294,902	56266,66	47849,67	116449,95	56076,34
2,942172254	-7,79E+03	3.572,277	-11.358,969	53539,72	-2726,94	113723,00	53349,40
3,075907356	-2,59E+04	3.572,277	-29.422,277	48447,45	-7819,21	108630,74	48257,13

3,209642459	-4,32E+04	3.572,277	-46.732,277	41169,28	-15097,38	101352,57	40978,96
3,343377561	-5,85E+04	3.572,277	-62.112,277	32238,82	-24027,85	92422,10	32048,49
3,477112663	-6,79E+04	3.572,277	-71.442,277	22191,00	-34075,67	82374,28	22000,67
3,610847766	-7,53E+04	3.572,277	-78.822,277	11462,46	-44804,20	71645,74	11272,14
3,744582868	-7,81E+04	3.572,277	-81.622,277	692,47	-55574,20	60875,75	502,15
3,878317971	-7,59E+04	3.572,277	-79.442,277	-9450,31	-65716,97	50732,98	-9640,63
4,012053073	-6,87E+04	3.572,277	-72.242,277	-18316,58	-74583,24	41866,70	-18506,90
4,145788176	-5,68E+04	3.572,277	-60.352,277	-25326,61	-81593,27	34856,67	-25516,93
4,279523278	-4,09E+04	3.572,277	-44.482,277	-30017,67	-86284,34	30165,61	-30208,00
4,41325838	-2,21E+04	3.572,277	-25.672,277	-32084,01	-88350,67	28099,28	-32274,33
4,546993483	-1,66E+03	3.572,277	-5.229,619	-31406,10	-87672,76	28777,19	-31596,42
4,680728585	1,89E+04	3.572,277	15.367,723	-28064,36	-84331,02	3341,74	-28254,68
4,814463688	3,82E+04	3.572,277	34.607,723	-22334,79	-78601,45	9071,31	-22525,11
4,94819879	5,47E+04	3.572,277	51.077,723	-14668,06	-70934,72	16738,04	-14858,38
5,081933893	6,72E+04	3.572,277	63.577,723	-5651,27	-61917,94	25754,83	-5841,59
5,215668995	7,48E+04	3.572,277	71.267,723	4042,88	-52223,78	35448,98	3852,56
5,349404098	7,73E+04	3.572,277	73.707,723	13712,96	-42553,70	45119,06	13522,64
5,4831392	7,45E+04	3.572,277	70.907,723	22686,28	-33580,38	54092,38	22495,96
5,616874302	6,69E+04	3.572,277	63.287,723	30371,73	-25894,93	61777,83	30181,41
5,750609405	5,52E+04	3.572,277	51.647,723	36301,91	-19964,75	67708,01	36111,59
5,884344507	4,06E+04	3.572,277	37.037,723	40159,87	-16106,80	71565,96	39969,54
6,01807961	2,42E+04	3.572,277	20.657,723	41793,38	-14473,28	73199,48	41603,06
6,151814712	7,34E+03	3.572,277	3.771,373	41213,06	-15053,60	72619,16	504,36
6,285549815	-8,88E+03	3.572,277	-12.450,006	85015,26	32644,13	101244,40	38046,83

Taula A3.6. Marcats en taronja trobem els 4 punts d'intersecció o punts d'equilibri, que es fan servir per al càlcul de les integrals discretes a partir de cadascun d'aquests 4 punts.

Mitjançant la funció MAX de excel, trobem el valor màxim de les integrals, que és **116.788,57**. Aquest és el paràmetre A (energia variable màxima acumulada en el sistema) que s'emprarà per al disseny del volant d'inèrcia:

$$A(J) \approx 116.788,57$$

On la irregularitat δ és la variació entre la relació màxima de velocitats al llarg del cicle i la velocitat mitjana:

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\text{mitja}}}$$

La velocitat mitja és:

$$\omega_{\text{mitja}} = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{2}$$

Per tant, a partir de la simulació de la velocitat aplicant 10T de força i obtenint-ne els valors usant les funcions MAX, MIN i AVG de excel:

-1,751	Velocitat mínima
1,761	Velocitat màxima
0,05	Velocitat mitja

Per tant la
irregularitat delta: 0,2

A partir del paràmetre A podem calcular la inèrcia a partir d'una fórmula simple que determina la inèrcia que ha de tenir el volant per garantir el grau d'irregularitat desitjat a una velocitat mitjana determinada (en rad):

$$I = \frac{A}{\delta \cdot \omega_{mitjana de gir del volant}^2} \quad \text{Equació 1.10}$$

D'aquesta manera obtenim una inèrcia de:

$$I = \frac{A}{0,2 \cdot (26)^2} = 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot A = 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot 116.788,57 Kg \cdot m^2 = \mathbf{863,82 Kg \cdot m^2} \quad \text{Resultat 1.10}$$