

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

INSTRUMENTACION Y PRUEBAS DE COMPONENTES ESTRUCTURALES DE LA MAQUINA PROTOTIPO DE FUNDICION A PRESION DE METALES

PROYECTO DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

PRESENTADO POR: Víctor David Hernández Díaz

GUAYAQUIL - ECUADOR 1989

AGRADECIMIENTO

INSTRUM

DE LA MI

.

Agradezco a DIOS, que en la adversidad me da paciencia y me llena de esperanza.

DEDICATORIA

Con amor y mi mayor respeto, a mis padres.

..... Ing. Nelson Cevalløs B. Decano FIM,

Idg. Guillermo Urdeizo

Director del Topico

La Qu

Ing. Eduardo Orcès P. Miembro del Tribunal

bus

Dr. Hans Peter Lohrlein Miembro del Tribunal

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este proyecto de grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Tòpico de Graduación de la ESPOL)

DAVID HERNANDEZ DIAZ

RESUMEN

Este trabajo se desarrolla en base a un prototipo de màquina de fundición a presión de metales, cuyo diseño y construcción inicial, corresponde al Ing. José Izaguirre; por tanto, la principal fuente de información para este anàlisis, serà su correspondiente tesis de grado "Diseño y construcción de una màquina de fundición a presión de metales", la cual serà llamada fuente original en las citas bibliogràficas.

Aunque el campo de acción de este anàlisis se circunscribe rigurosamente a un diseño previo, se ha unificado el sistema de unidades y por tal razón, todos los càlculos apareceràn en base al sistema internacional.

El capítulo I describe el funcionamiento y principales sistemas de la màquina para establecer el campo de acción de este anàlisis. En el capítulo II se revisa el proceso de diseño teórico inicial y luego se propone una nueva estimación sobre el mismo con argumentos adicionales de diseño.

El capítulo III describe el anàlisis experimental de esfuerzos (instrumentación, procesamiento y càlculos).

Finalmente, el último capítulo evalúa los resultados, hace las recomendaciones necesarias para mejorar el diseño y emite conclusiones de forma y diseño mecànico.

Est

DO Em

COD

cons

- neta

etio

state

a ab

11120

dise

Cabe indicar que la revisión del proceso de diseño propone una nueva estimación que involucra cambios de dimensión en algunos elementos de la màquina. No obstante, vale mencionar que el sistema se probó con una sustancia de trabajo diferente a la correspondiente de diseño, y por tanto los resultados se basan en estas dos condiciones.

INDICE GENERAL

Fin

tima

Cable

algu

menc

trat

/ tan

RESUMEN ARRANALARRANA	VI
INDICE GENERAL	VIII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XII
SIMBOLOGIA	XIII
INTRODUCCION	14
I GENERALIDADES	16
1.1 Antecedentes	16
1.2 Descripción y funciones de la maqui-	
na FFM	16
1.2.1 Funciones de la màquina	16
1.2.2 Sistemas de la màquina	17
1.3 Campo de acción de nuestro anàlisis	19
1.3.1 Sistema de cierre	19
II DISENO	22
2.1 Revisión de <mark>l proceso teórico ini</mark> cial	22
2.1.1 Fuerzas que actùan en el sistema 🔷	
de cierre	22
2.1 <mark>.</mark> 2 Diseño de gu <mark>las</mark>	22
2.1 <mark>.3</mark> Diseño de es <mark>labones</mark>	23
2.2 Nueva estimación <mark></mark>	27

		2.2.1 <mark>Fuerzas q</mark> ue actúan en el <mark>siste</mark> ma	
		de cierre	27
		2.2.2 Diseño de gulas	27
		2.2.3 Diseño de eslabones	32
III	ANAL	ISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS	33
	3.1	Habilitación del prototipo	33
-	3.2	Instrumentación	34
		3.2.1 Gulas	34
		3.2.2 Eslabones	34
		3.2.3 Preparación de superficies	35
		3.2.4 Pruebas	35
		3.2.5 Calculo del factor de seguridad	
		para f <mark>alla estàtica</mark>	38
		3.2.6 Calculo del factor de seguridad	
		N para falla dinàmica	44
v	EVAL	UACIONES Y CONCLUSIONES	51
	4.1	Anàli <mark>sis d</mark> e resultados	51
	4.2	Sugerencias para el siguiente prototi	
		po	51
	4.3	Conclusiones	53
		4.3.1 Diseño mecànico	53
		4.3.2 Diseño de forma	55

REB(PH

BOIGH

BOIGHI

BOIGH

LIOBM13

NTROD

GEN

C.1

DISE

INDICE DE FIGURAS

and a	Màquina de fundición a presión de metales,	
	tipo càmara caliente	18
2.	(a) Sistema de cierre	20
	(b) Cierre de forma tipo doble palanca	
	acodada	20
	(c) Componentes del sistema de cierre	21
3.	Fuerzas que actúan en el sistema de cie-	
	rra erecentrerecentrerererererererererererererererererer	21
4. "	Comparación entre las columnas de Euler y	
	Johnson	29
57 n	Fuerzas combinadas que actùan en el sistema	
	de clerre	30
6.	Cîrculo de Mohr para los esfuerzos combina-	
	dos: medio y alternante	30
7 .	Ubicaci <mark>on de extenso</mark> metros (rosetas rectan-	
	gulares), <mark>en las</mark> gulas	36
8.	Ubicación de ext <mark>ens</mark> ometros simples en los	
	eslabones	36
9.	Vista de la instrume <mark>ntación de los</mark> eslabo-	
	пос вкакккикинанскаховкалининикальськовновь	37
10.	Disposición angular de <mark>ejes de</mark> la roseta	
	(tomand <mark>o com</mark> o referenci <mark>a las g</mark> uías 2 y 4)	37
4-4 4-4 1	Esfuerzos principales màximos 1 y 2 en las	
	oulas. debido a una fuerza variable	45

1.2	. Relación e <mark>ntre el factor d</mark> e seguridad <mark>N y</mark>	
	la fuerza de cierre equivalente	45
13	. Diagrama de fatiga para esfuerzos comb <mark>inado</mark> s	
	de tracción y flexión en las gulas	49
14	. Diagrama de fatiga para esfuerzos de compre-	
	siòn en los eslabones	49
15,	. Utilaje montado para extraer el èmbolo <mark>de</mark>	
	inyección """"""""""""""""""""""""""""""""""""	57
16.	Embolo de inyección	58
17.	Anillo de compresión	60
18.	Diagrama de fatiga para gulas	61
19.	. Diagrama de fatiga para eslabones	61

INDICE DE TABLAS

1	PROPIEDADES MECANICAS DE ACEROS	26
II	LECTURA DE DEFORMACION EN EXTENSOMETROS	41
III	ESFUERZOS PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS ANA-	
	LIZADOS	42
IV	VALORES EXPERIMENTALES DEL FACTOR DE SEGU-	
	RIDAD N (FALLA ESTATICA)	43
V	COMPARACION DE DIMENSIONES SEGUN NUEVA ES-	
	TIMACION	50

13. 14. 15. 17. 18. 17.

SIMBOLOGIA

FPM:	Fundiciòn a presiòn de metal <mark>es</mark>
Fcier	Fuerza de cierre màximo
Fcie equiv:	Fuerza de cierre equivalente
Traccs	Tracción
Flex:	Flexion
Mu	Momento flector
£	Distancia desde el eje neutro hasta la
	fibra màs alejada.
T #	Momento de inercia
for the second sec	Diàmetro de la guia
th :	Altura del <mark>eslabón</mark>
σ maximo:	Esfuerzo màximo equivalente teòrico
<u>en 1</u>	Espesor del eslabon
J.) ::	Mödulo de Poisson

INTRODUCCION

Este trabajo tiene como objetivos:

- Conocer los argumentos de diseño de elementos estructurales de una màquina FPM, y proponer una nueva estimación para conocer cómo varlan los càlculos y resultados.
- Hacer el anàlisis experimental de esfuerzos, mediante extensômetros de resistencia eléctrica (strain gages), sean éstos simples o rosetas rectangulares.
- Proponer recomendaciones y sugerencias para el siguiente prototipo.

Para cumplir con los objetivos propuestos, y resolver el problema planteado, programamos el siguiente plan de trabajo:

- Revisión del proceso teórico de diseño, para determinar los elementos que serán analizados experimentalmente.
- Inspección y habilitación del prototipo, para que pueda trabajar experimentalmente.

- Preparaciòn de los elementos para su instrumentación, y pruebas experimentales.
- Cálculos y procesamiento de datos, para análisis y comparación de resultados.
- Recomendaciones para el siguiente prototipo en base a los resultados obtenidos.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El desarrollo de un prototipo -hasta su etapa definitiva- involucra pruebas experimentales que retroalimentan el modelo inicial, hasta conciliar en el ûltimo, los conceptos de funcionalidad, seguridad y economia.

1.2. DESCRIPCION DE FUNCIONES Y SISTEMAS DE LA MAQUINA FPM (Basada en la fuente original)

1.2.1. Funciones de la mâquina

La màquina debe ser capaz de:

- Contener el metal líquido y mantenerlo a una temperatura determinada.
- Inyectar el metal al molde, en la cantidad requerida para la pieza a colar, manteniendo esta presión hasta la solidificación de la pieza.
- Sostener el molde y accionarlo durante el proceso.

1.2.2. Sistemas de la màquina

Los sistemas que permiten cumplir con estas funciones son:

Sistemas de fusión: donde se prepara y mantiene la colada por medio de un horno integrado.

- Sistema de inyección: introduce a presión el metal fundido, y asegura el llenado de las cavidades del molde por medio de un émbolo inyector que comprime la colada confinada en una câmara de presión, conocida como cuello de ganzo.
 - Sistema de cierre: del tipo doble palanca acodada, formada por un bastidor fuerte que sostiene las mitades del molde en una posición determinada, y permite la coalescencia de ellas durante la colada, y abre las mismas una vez que la pieza fundida se ha solidificado.

Sistema generador de energía: proporciona la energía necesaria para el accionamiento y maniobra de la màquina. (Ver figura 1).



Fig. 1: Máquina de fundición a presión de metales, tipo $c\underline{a}$ mara caliente.

18

1.3 CAMPO DE ACCION DE NUESTRO ANALISIS

Fijaremos nuestra atención en el sistema de cierre, porque en el desarrollo de esta función propiamente dicha, estàn involucrados muchos paràmetros importantes que propician y propagan problemas tanto en el funcionamiento, cuanto mas complejos sean los argumentos de diseño.

1.3.1 Sistema de cierre

Este sistema cumple dos funciones específicas:
Sostiene y gula las mitades del molde.
Mantiene cerradas y abre las mitades del mismo, expulsando la pieza final.

Las partes principales que forman el bastidor son tres placas y cuatro barras macizas de acero. A la placa fija llega por un lado la boquilla del cuello de ganzo del sistema inyector, y por el otro, està sujeta la mitad fija del molde. La mitad mòvil està montada en su propia placa, que se halla entre las placas fija y estacionaria. Esta última està en el otro extremo del bastidor, y el conjunto de estos mecanismos forma un ensamble rígido (Ver figuras 2(a), (b) y (c).













Fig. 2(c): Componentes del sistema de cierre.



Fig. 3: Fuerzas que actúan en el sistema de cierre. (1): reacción; (2): cierre; (3): trabajo.

'Ti;

.....

CAPITULO 2

DISENO

2.1 REVISION DEL PROCESO TEORICO INICIAL

2.1.1. Fuerzas que actúan en el sistema de cierre

Como vemos en la figura 3, la fuerza nominal de cierre realiza una acción, cuya reacción se comparte en las cuatro guías.

2.1.2 Diseño de gulas.

Se considera una fuerza de cierre, tipo esfuerzo repetido, que varia de O a O.98 MN y construidas en acero SAE 1040 (ver propiedades en tabla I).

Para cada gula:

 σ max. = 1/4 (Fcie/A) = (312.26/d²) KN

 $\sigma = 1/2 \sigma max. = 156.13/d^2 KN$

Se = KaKbKcKdKeKf S'e

S'e = 0.5 Sut ; Sut 1400 MPa

Se = 145.15 MPa

Según el diagrama de fatiga <mark>de columnas</mark> (Apéndice C, figura 18)

Sa = 127.4 MPa

Aplicando teoría de Von Mises, para N=2: σ a ≤ (Sa/N) 0.156/d² = 127.4/2 d = 49.5 mm Se selecciona un diAmetro comercial de 50.8

(MA) n

2.1.3 Diseño de eslabones

Se consideran como elementos sometidos a compresión, y se parte de la premisa que la Fcie debe ser mayor que la Freacción, para evitar destape de los moldes.

Se contò con un acero SAE 1010 (ver propiedades en tabla I), en espesores disponibles de 20 mm y 38mm.

Para cada eslabón:

 σ max = 1/8 (Fcie/A) = 3.23/hMN σ a = σ max/2 = 1.615/h MN Se = KaKbKcKdKeKf S'e S'e = 0.50 Sut ; Sut 1400 MPa

Se = 160 MPa

Según el <mark>diagrama de</mark> fatiga de columnas (Apéndice C, figura 19). Sa = 90 MPa

Aplicando teoría de Von Mises, para N=3:

1.615/h = 90/3h = 53.8 mm

Criterio usado en el diseño de eslabones:

Se toma el elemento como columna, pues la condición de esfuerzos dada lo hace trabajar así, además es lo suficientemente largo y por tanto la falla posible que podrla ocurrir serla por pandeo. (Ver figura 4).

Si se cumple que $1/k \le (1/k)_{1}$ Debemos emplear Pcr/A=Sy-b(1/k)_2 , (Ec. Johnson)

Haciendo la comparación:

1/k = 1.84 $(1/k)_1 = \sqrt{2\pi^2 nE/Sy} = 150.6$ $18.4 \le 150.6$. Usamos ec. Johnson.

Según esto, tendremos los siguientes valores para el factor de seguridad N: Para eslabones medios:

Pcr/A = Sy-b
$$(1/k)^{2}$$

Pcr 0.328 MN
1
A = 0.0018 m
1
b = $(Sy/2)^{2} (1/nE) = 3970$ Pa
N = Pcr/Ptrab = Pcr/Fmax = Pcr/($\frac{1}{B}$ Fcie)
N = 2.67
Para eslabones extremos:
Pcr2 = 0.173 MN
A = 0.00096 MN
2
...
N = 1.41

ACERO	5 5 5 7	Sut -{	1
1010			
eslabon)	0.179	0.320	207
1040			
(guia)	0.289	0.290	207

2.2. NUEVA ESTIMACION

Se basa en un estado de esfuerzos combinados de tracción y flexión.

2.2.1. Fuerzas combinadas que actúan en el sistema de cierre.

> La Fig. 5 indica que debido a la excentricidad de la fuerza de cierre, se crea un momento flector que se suma a la tensión simple, desarrollando así un estado de esfuerzos combinados de tracción + flexión.

2.2.2. Diseño de gui<mark>as: esfuerzos debido a cargas</mark> combinadas.

> Esfuerzos alternantes debido a tracción: σ a (Tracc) = (σ max - σ min)/2 (tracc)

> > σ max = 1/4 (Fmax/A)

 $\sigma \max = 1/4(Fcie/A)$ $\sigma \max = (0.312/d^2) MN$ $\sigma \min = 1/4 (Fmin/A) = 0$ $\sigma a (Tracc) = \sigma \max/2 = 0.312/2d^2$ $\sigma a (Tracc) = 0.156/d^2 MN$ Esfuerzos medios debido a tracción: $\sigma m (Tracc) = (\sigma \max + \sigma \min)/2 (tracc)$ $\sigma \max = 1/4 (Fmax/A)$ = 1/4 (Fcie/A) $\sigma \max = (0.312/d^2) MN$ $\sigma \min = 1/4 (Fmin/A) = 0$ $\sigma m (Tracc) = \sigma \max/2 = 0.312/2d^2$ $\sigma m (Tracc) = 0.156/d^2 MN$ Esfuerzos alternantes debido a flexión $\sigma a (Flex) = (\sigma \max - \sigma \min)/2 (Flex)$





Fig. 4 : Comparación entre las columnas de Euler y Johnson.

1) 1

> (a) Criterio de falla para elementos de compresión simples y, columnas de Euler. Estima que habrá una ordenada, levantada en el punto correspondiente a una relación de esbeltez determinada.

> (b) La falla de una columna comienza antes que la carga por unidad alcance un punto de la línea ABD.



Fig. 5: Fuerzas combinadas que actúan en el sistema de cierre. (1 = 0.212)



Fig. 6: Círculo de Mohr para los esfuerzos combinados (a) alternante; (b) medio.

30

Sumando entre si los esfuerzos alternantes y mediost σ 1a (Tracc+Flex) = (0.156/d² + 0.264/d) MN σ 1m (Tracc+Flex) = (0.156/d² + 0.264/d) MN $\sigma' m A \times i m c = \sigma i a + \sigma i m$ $\sigma 2 = 0$ σ^* máximo = σ^*eq $\sigma' \text{ maximo} = 2(0.156/d^2 + 0.269/d) MN$ Anàlisis para falla estàtica, para N=3 $N = Sy/\sigma' m Aximo$ σ 'maximo = Sy/3 = 96.33 MPa $2(0.156/d^2 + 0.264/d) = 96.33$ $0.156/d^2 + 0.264/d$) = 48.16 Resolviendo esta ecuación, obtenemos: d = 0.1826 mAnàlisis para falla dinàmica, para N=3 (según la teoría de Goodman modificada) N $[\sigma'm/Sut + \sigma'a/Se] = 1$ $\sigma' m/290.28 + \sigma' a/129.9 = 1/3$ $Comc \sigma'm = \sigma'a$ $\sigma' m(1/290.2 + 1/129.9) = 033$ $\sigma'm = 29.91 \text{ MPa} = \sigma a$ $(0.156/d^2 + 0.254/d) = 29.91$ Resolviendo esta ecuación, obtenemos:

d=0.2153 m

31

Este nuevo valor del diàmetro indica un incremento del mismo, esto se debe a que la nueva estimación solicita a la guía tener mayor capacidad de resistencia para soportar con cierta seguridad, los esfuerzos combinados.

NOTA: En los cálculos posteriores correspondientes a las guías, se debe corregir el valor del límite de fatiga Se, así:

Se = KaKbKcKdKeKf S'e

Ka=Kc=Kd=Ke=Kf=1 -0.097 Kb = 1.189 d = 0.812 S'e = 0.50 Sut ; Sut ≤ 1400 MPa S'e = 160 MPa Se = 129.92 MPa

2.2.3. Diseño de eslabones: bàsicamente se mantiene el criterio original, pero debemos hacer la corrección del valor del limite de fatiga Se, asl:

Se = KaKbKcKdKeKf S'e

Kb=Kc=Kd=Ke=Kf=1

Ka = 0.9 (no está pulido)

S'e = 0.50 Sut ; Sut \leq 1400 MPa

S'e = 160 MPa

Se = 144 MPa

CAPITULO 3

ANALISIS EXPERIMANTAL DE ESFUERZOS

3.1 HABILITACION DEL PROTOTIPO

Debido al mantenimiento correctivo que se dio a la maquinaria, algunos elementos mecànicos del sistema de inyección fueron modificados, quedando las siguientes dimensiones finales:

Embolo de inyección (1): de de la columna de

D = 63.458 mm Longitud del tramo cónico = 183 mm

Anillos de compresión (2):

D = 63.68 mm

Tratamiento termico de alivio de tensiones, temple y revenido.

(1) Ver càlculos y otros, en Apéndice A(2) Ver càlculos y otros, en Apéndice B

3.2. INSTRUMENTACION

3.2.1. Guĩas

Como asumimos un estado de esfuerzos combinados de tracción y flexión, pero con poca información de las direcciones principales, utilizamos cuatro rosetas rectangulares ubicadas en la fibra deflectada de ellas (esto es, mirando la sección transversal desde la chimenea de la máquina), y a una distancia 2*d desde la placa fija, a 315, 225, 45 y 135 grados para G1, G2, G3 y G4 (ver fig. 7)

3.2.2. Eslabones

Debido a un estado de esfuerzos unidireccional asumido, colocamos cuatro extensômetros simples ubicados en el eslabón extremo y medio de cada lado, en la dirección longitudinal (fibra central), y a una distancia 2%e, desde la articulación (ver figs. 8 y 9). 3.2.3. Preparación de superficies.

Limpieza del lugar de ubicación de los extensòmetros, de toda irregularidad superficial y herrumbre, con acondicionador (sust. àcida), y lija.

Limpieza del lugar con un neutralizador (sust. bàsica).

Trazado del eje de referencia para orientar el extensòmetro en la dirección requerida.

Pegamos cinta adhesiva sobre el extensòmetro levantamos la cinta y untamos pegamento sobre la probeta a ensayar, luego bajamos la cinta y presionamos con el dedo el extensòmetro en la superficie, soldamos los cables a los terminales y untamos recubrimiento protector.

3,2.4. Pruebas

Una vez hecha la conexión de los cables al medidor de deformación, procedimos a hacer el ensayo con mucho cuidado, pues la falta de instrumentos de control, impedia regular



Fig. 7 : Ubicación de extensómetros (rosetas rectangulares) en las guías.



Fig. 8 : Ubicación de extensómetros simples en los eslabones.



Fig. 9 : Vista de la instrumentación de los eslabones.



Orientación de los extensometros: $\Theta_A = -45$ $\Theta_B = 0$

 $\Theta_{C} = 45$

Fig. 10 : Disposición angular de ejes de la roseta (tomando como referencia las guías 2 y 4). las condiciones de semejanza entre una y otra prueba, no obstante, pudimos registrar los valores de deformación que aparecen **en** la tabla II.

3.2.5 Cálculo del factor de seguridad para falla estática.

Dada la cantidad de datos, los càlculos fueron procesados por computadora según el programa respectivo, el cual se base en el procedimiento detallado a continuación, y cuyos resultados aparecen en las tablas III y IV.

A : Gulas

De las relaciones de transformación de deformaciones unitarias, para nuestro caso (Fig 10):

 $\begin{aligned} &\in A = \{ \xi \times \xi \circ \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi^2 \} \otimes A + \{ \xi \vee \xi \otimes \xi$

 $\begin{aligned} &\in C = 1/2(\epsilon_{XX} + \epsilon_{YY} + \epsilon_{XY}) \\ &\text{Segun esto:} \\ &\epsilon_{XX} = \epsilon_B \\ &\epsilon_{YY} = \epsilon_A - \epsilon_B - \epsilon_C \\ &\delta_{XY} = \epsilon_C - \epsilon_A \end{aligned}$

Entonces obtenemos las deformaciones unitarias principales, y direcciones principales:

 $\begin{aligned} \varepsilon_1 &= (1/2) \left[(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) + \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + \sqrt[n]{2} \times y^2} \right] \\ \varepsilon_2 &= (1/2) \left[(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) - \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + \sqrt[n]{2} \times y^2} \right] \\ \tan 2\theta &= \sqrt[n]{xy/(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})} \end{aligned}$

Hallamos los esfuerzos principales para el estado bidimensional.

 $\sigma 1 = E (\epsilon 1 + \mu \epsilon 2) / (1 - \mu^2)$ $\sigma 2 = E (\epsilon 2 + \mu \epsilon 1) / (1 - \mu^2)$

N falla est<mark>ática = ___</mark>

Esto nos conduce al valor del factor de seguridad para prevenir falla por carga estàtica:

Sy

 $\sqrt{\sigma 1^2} - \sigma 1 \sigma 2 + \sigma 2^2$

B : Eslabones

ø1 = E€

N falla estàtica = $Sy/\sigma 1$

			ECTURA DE	TABL DEFORMA Cu	A II CION EN NEJ	EXTENSOM	ETROS		
I UB	UBICACION :			PRUEBA No.					
i IEXTI	DE ENS <mark>O</mark> I	1ET	1.1	2 1	3	4 1	5 1	6	
	1		1 90 1	116	57	55 1	69	104	
i M I D	2	1	62	76	18	32	63	68	
	i I G		48.1	37	18	55	31	45	
	1 U		127	160	128	126	160	161	
		13	43	85	43	73	47	105	
i I I E		5 5 5	50	76	422.76	40	46	64	
	I E	E	-70	181	336	217	267	377	
i U I		M		-39	-20	-7	-7	-10	
1	1	1		12	20	21	23	25	
			-32	-35	-26	-26	-24	-21	
	I G	i 	1 17	7	1.7	1.7	19	21	
			-35	-34	-40	-36	-33	-32	
	1 (m) 1	: 4 :	-59	-57	-56	-53	-52	50	
	1	1		-7	-8	-5	4.		
, H			10	10	12		1.0	12	
24 04 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14		1 14	1 -8	-8	-7	-8	4].	2	
I									

	TABLA III ESFUERZOS PRINCIPALES EN LOS ELEMENTOS ANALIZADOS [MPa]										
1	VIA, CIRPERT PRUEBA No.										
2									6		
1			1	1 1 2	1 1 2	1 1 2	1 1 2	1 1 2 1	1 1 2		
1			1	23.66 1 16.56	28.69 15.96	15.35 6.50	19.73 12.34	18.27 10.93	26.56 16.8		
	1 1 1 A 1	1	3	35.36 16.23	42.97 25.83	34.42 15.14	31.28 17.11	42.81 17.20	42.50 28.9		
	IE IS		E	14.49	37.46	69.55	44.92	55.27	78.04		
		A I M B I	M	1.03	8.07	4, <u>14</u>	1.44	1.44 1.44	2.07		
	1 G 1 U	1	2	11.70 -3.24	 9.92 -4.38	12.53 -1.75	12.76 -1.68	13.35 -1.10	1 13.77 -0.3		
: A ! D	1 A		4	-5.89 1-13.92	-5.3 I-13.35	-5.27 -13.38	-4.4 !-12.46	-4.2 -12.1	-12.1 -11		
	1 E 1 S		E	2.07	2.07	2,48	2.27	2.07	2.48		
: R :	I A B		K	1.66	1.66	1.45	1 1.66	l 1 0.83	0.44		

		Vi	ALORI	ES EXPER:	TABL IMENTALE: N (falla	LA IV 5 DEL FA(estatica	CTOR DE : a)	SEGURIDAD)		
1	UBICACION			PRUEBA No,							
E	XTE	DE. ENSOI	MET		2	1 3	4				
1			2	 13.756 	111.640	21.672	16.764	 18.177 	12.4		
	GI	(Q (}	- 3	¦ 9.437	 7.72 	; 9.682	10.66	; ; 7,74 ;	7.6		
	I ¦ A ¦		2	: 21.25	 22.79	; ; ; 21.43	; ; 21.13	20,76	20.7		
		R	R	4	; ; ; 23.88	¦ ¦ 24.88	24.76	: 26.44	 27.21	28.2	
			E X	1 12.35	4.77	2.57	1 3.98	3.23	2.29		
		: 2 : 0 :	I M I E	1173.78	22.17	; 43.23	¦ 123.55	; 123.5	86.4		
			E X	86.47	86.47	1 72.06	78.61	86.47	72.0		
	8		I M E	1108.09	1 108.09	: :123.53	1108.09	¦ 216.18	432.		
NDTA: E = EXTREMO M = MEDIO											

and the set of the local set of the

43

3.2.6. Câlculo del factor de seguridad N para falla dinàmica.

A : Gulas

Con los valores de los esfuerzos principales màximos 1 y 2 (figs 11a y 11b), determinamos sendos esfuerzos alternantes y medios. Por la teoria de Von Mises determino la igualdad entre aquellos, los cuales una vez conocidos y con la ayuda del diagrama de fatiga para esfuerzos combinados de tracción y flexión (fig. 13), determinamos el factor de seguridad N para falla dinàmica. Con este valor y por la teoría de Godman modificada determinamos el nuevo valor del diàmetro de las guías, esto es:

$\sigma lm = (\sigma max1 + \sigma min1)/2$	σ2m=(σmax2 + σmin2)/2
σ1m=σmax1/2	$\sigma 2m = \sigma max 2/2$
σia=(σmaxi — σmini)/2	<mark>σ2a=(σ</mark> max2 - σmin2)/2
$\sigma_{1a} = \sigma_{max} 1/2$	σ2a=σmax2/2

Von Moises:



Figs. II (a) y II (b) :

Esfuerzos principales máximos 1 y 2 en las guías, debido a una fuerza variable.

45



Fig. 12 : Relación entre <mark>el factor de seguridad N y la fuerza de cierre</mark> equivalente.

<u> </u>	m	7	σ1.	m ²	•***	σ1.m	σ2m	-4-	σ2m²
0 ^{.2} a		-J	or 1.	a ^z	0,000 00000 P*040	σ1.a	σ2a		$\sigma 2a^2$

Reemplazando valores:

0 ^{. 3} M	 -კ თო	ax 1	1		rmax2	••
	((omax1	omax2)+()	2
	2		2		2	
σ°a	 J om	ax 1	1		omax2	
	((omax1	omax2)+()	2
	2		2		2	

Según esto, σ'm = σ'a

 $\sigma'a = 4.084$ MPa correspondie $\sigma'm = 4.084$ MPa Sa = 95 MPa Sm = 80 MPa N falla dinàmica = Sa/ $\sigma'a = 95$ / 4.084 N falla dinàmica = 23.26

Comparaciòn:

N falla dinàmica / N falla estàtica = 0.82

Determinamos el nuevo valor del diàmetro:

N falla dinàmica [σ 'm/Sut + σ 'a/Se] = 1 σ 'm = σ 'a σ 'm [1/290.2 + 1/129.9] = 1/23.26 σ 'm = 3.85 (0.156/d² + 0.264/d) = 3.85 Resolviendo esta ecuación, obtenemos:

d = 0.45 m

B: Eslabones

Si tomamos los valores de la tabla IV y hallamos (en una determinada prueba), para cada N falla estàtica su fuerza de cierre equivalente, y graficamos esta relación, notaremos una variación que se aproxima mucho a una linea inversamente proporcional. Si extendemos esta línea hasta la fuerza màxima de diseño, por extrapolación obtendremos un correspondiente valor de N que serà el necesario para prevenir la falla dinàmica (fig.12).

Según el gràfico:

0.981 0.604 N f.d 2.29

N falla dinâmica = 1.40

Comparacion:

N falla dinàmica / N falla estàtica = 0.61 σ max carga dinàmica = 1/8 (Fcie equiv/A) σ max carga dinàmica = 1/8 (0.604/0.038xh) σ max carga dinâmica = 1.98 / h MN σ a carga dinâmica = σ m carga dinâmica = 0.99 / h MN

Del diagrama de fatiga para esfuerzos de compresión (fig. 14), determinamos el nuevo valor de h (para prevenir falla dinàmica), según la teoría de Goodman modificada:

N falla dinàmica [σ m/Sut + σ a/Se] = 1 (0.99/ h)[1/320 + 1/1443 = 1/1.40

Resolviendo esta ecuación, obtenemos:

h = 0.0138 m



Fig. 14. : Diograma de fatiga para esfuerzos de compresión en los eslabones.

10

COMPARACIO	TABLA V N DE DIMENSIONES SEGU	JN NUEVA ESTIMACION
	I ANALISIS TEORICO	ANALISIS EXPERIMENT
ELEMENTO	DIAMETRO DE LA GUIA	DIAMETRO DE LA GUIA:
	FALLA I FALLA ESTATICA IDINAMICA	FALLA DINAMICA
GUIA	0.1826 0.2153	onal para las guías
L L ESLABON	ALTURA h (m)	ALTURA h (m)
	1 0.0538 1	0.0138

CAPITULO 4

EVALUACIONES Y CONCLUSIONES

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS

Según podemos apreciar en la tabla V, las dimensiones del diàmetro de las guías y altura de los eslabones, sufren variaciones. Esto se debe a que el anàlisis arguye un estado de esfuerzos combinados de tracción y flexión en las guías; y compresión simple en los eslabones, pero los esfuerzos principales nos indican que el estado no es unidireccional para las guías, y no necesariamente un estado de esfuerzos simples para los eslabones.

Esto no quiere decir que están equivocados los càlculos, mas, debe hacerse otra estimación que . considere un estado de esfuerzos combinados no unidireccional para las guías, y no simple para los eslabones. No obstante, queda propuesto el método de desarrollo del anàlisis experimental.

4.2. SUGERENCIAS PARA EL SIGUIENTE PROTOTIPO

Pràcticamente las nec<mark>esidades m</mark>as urgentes de la màquina son referentes al diseño de forma, y ensayos con la sustancia de trabajo considerada en su diseño, pues la simulación efectuada en los ensayos, limita la adquisición de información importante.

Como principales sugerencias, podemos anotar la implementación en la màquina de medios que permitan regular y controlar:

- La fuerza de cierre, la cual debe procurar un acople muy intimo entre las partes del molde;
- La presión de inyección, pues ésta varía según el material, y aunque el actual prototipo se diseño para aleaciones de zinc, no hay manera de conocer si efectivamente se está trabajando con esa presión de inyección.
- La presión del cierre de los moldes, pues al cambiar éstos, el acercamiento y unión debe ser preciso y simétrico;
- La temperatura d<mark>e la colada,</mark> pues este parâmetro debe ser celosamente vigilado.
- La temperatura de la tobera de inyección, ya sea por una resistencia o por la llama de una boquilla.

4.3. CONCLUSIONES

4.3.1. Diseño mecânico

A partir de la tabla V (que compara dimensiones según nueva estimación para anàlisis teòrico y experimental), podemos conocer cierta información útil para posteriores trabajos asi:

A : Gulas

Notamos que para un diseño contra falla dinàmica y, ^{Si}suponiendo un estado de esfuerzos combinados de tracción y flexión, el diàmetro de construcción es aproximadamente el 14% de este valor, lo cual indica que no están actuando los mismos esfuerzos estimados. Lo mas probable es que el esfuerzo torsor, combinado con uno de los anteriormente considerados, sea el estado de esfuerzo mas aproximado al que experimentalmente està actuando en @1 sistema (d<mark>ecimos esto p</mark>orque el ajuste de las gulas es por medio de tuercas enroscadas al extremo de las mismas).

No obstante, estamos seguros que el valor obtenido para falla dinàmica en el anàlisis experimental, garantiza que resistirà la tracción y flexión combinadas, que fueron asumidas en el càlculo.

B : Eslabones

Según la tabla V, el nuevo valor de diseño para h es 0.0138 m, o sea 29% de la altura de construcción; esto nos lleva a pensar que dicho elemento estaría sobredimensionado si nos remitimos exclusivamente a la nueva estimación. Sin embargo, esta aseveración es relativa a las codiciones experimentales sobre las que se realizaron las pruebas.

Cabe destacar que aún cuando la nueva estimación es muy conservadora, la altura del eslabón disminuye notablemente; esta observación nos presenta dos opciones, las cuales indican que el elemento no està siendo muy esforzado, o que en el ocurren esfuerzos combinados (y probablemente tampoco unidireccionales).

4.3.2. Diseño de forma.

Además de la dotación de instrumentación necesaria para el control y regulación de los paràmetros que debemos vigilar, se deben erradicar los siguientes defectos de manufactura detectados:

- Porosidad: debido a bajas temperaturas en la matriz por falta de enfriamiento.
- Rebaja excesiva: debido a material adherido en la superficie de la matriz; también por una presión excesiva en la inyección, y por desigual fuerza de cierre aplicada al molde.
- Rotura de pieza: debido a temperatura excesiva en la sustancia de trabajo y matriz.
- Griet<mark>as: también</mark> debido a excesiva temperatura en la sustancia de trabajo y matriz.

APENDICE A

CALCULO DE DIMENSIONES PARA EL EMBOLO DE INYECCION

Dimensión final del diàmetro exterior:

torine pare éxtrere a échere layier-a

$$x = 1.37 \times 10 \qquad -2 \qquad 1$$

D = 64 - 0.174 - 0.368

D = 63.458 mm



Fig. 15: Utilaje montado para extraer el émbolo inyector



APENDICE B

CALCULO DE DIMENSIONES PARA LOS ANILLOS DE COMPRESION

Dimensión final del diàmetro exterior:

D = Di - Tolerancia - △ Da Di = Diàmetro nominal = 64 mm Tolerancia = Asiento forzado ligero J6 = 0.013 mm (entre el anillo y la camisa) △ Da = Dilatación del diàmetro del anillo de compresión

 \triangle Da = Di $\alpha \triangle$ T

α = Coeficiente medio de expansión térmica

$$\alpha = 11.5 \times 10$$

△ T = Diferencia de temperaturas = 420°C

 \triangle Da = 64 x 11.5 x 10 x 420 \triangle Da = 0.30912 = 0.31

D = 64 - 0.013 - 0.31

D = 63.68 mm





PROCESO TEORICO INICIAL (TOMADO DE FUENTE ORIGINAL)

۲ł.







BIBLIOGRAFIA

- Izaguirre Arellano, José Luis; Tesis de Grado: Diseño y construcción de una máquina de fundición a presión de metales, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Mecánica, 1989.
 - 2. B. Seely, M.S. y J.O. Smith, A.M., Curso Superior de Resistencia de Materiales, (Buenos Aires: Editorial Nigar, 1967), pp. 213 - 247.
- 3. Shigley, Joseph E. y Mitchell, Larry D.: Diseño en Ingenierla Mecànica, Mc Graw Hill, Mèxico 1985, Cuarta Edición (Tercera edición en español), pp. 66 -358.
- 4. Perry; Mc Graw Hill, The Strain Gage Primer, Mc Graw Hill, New York 1962, pp. 17 - 27; 112 - 138.
- 5. Espinoza, Ing. Marcelo; Notas y Traducciones de Diseño de Ingenierla, ESPOL, Guayaquil, 1986, pp.1 -34.
- 6. Singer, Ferdinand L.; Resistencia de Materiales,
 Harper and Row Publishers Inc, México, 1971, pp. 109
 124; 334 338.
- 7. Marks, Manual del Ingeniero Mecànico, Vol I, II (2a. edición en español), México: Mc Graw Hill de México, 1984.

62