

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo estructurado de manera independiente

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“ESTUDIO DE PARÁMETROS FÍSICOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS Y SU EFECTO EN VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MISMOS EN PRUEBAS DE LABORATORIO”.

Autor: Francisco Saúl Alcocer Salazar

TUTOR: Ing. Mg. Gonzalo López

AMBATO – ECUADOR

2013

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo investigativo **“ESTUDIO DE PARÁMETROS FÍSICOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS Y SU EFECTO EN VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MISMOS EN PRUEBAS DE LABORATORIO”**. Trabajo elaborado por el Egresado Francisco Saúl Alcocer Salazar.

Certifico:

- Que el presente informe es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Esta concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Julio del 2013

.....
Ing.Mg.Gonzalo López

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TESIS

Yo, Francisco Saúl Alcocer Salazar con C.I. # 050306679-7 declaro que los resultados obtenidos y expuestos en el presente trabajo de investigación con el tema. **“ESTUDIO DE PARÁMETROS FÍSICOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS Y SU EFECTO EN VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MISMOS EN PRUEBAS DE LABORATORIO”**, son absolutamente de mi autoría; a excepción de las referencias bibliográficas que se incluyen en este texto.

Que los criterios emitidos en el trabajo de investigación así como también los contenidos, conclusiones, recomendaciones son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor del presente trabajo.

Ambato, Julio del 2013

.....
Francisco Saúl Alcocer Salazar

C.I. 050306679-7

AUTOR

DEDICATORIA

*Este Proyecto dedico a **Dios**, por la vida y la salud, por regalarme ese don preciado de conocer su palabra, que es bondad, benignidad sobre todas las cosas el amor incondicional que imparte a sus hijos que hacen su voluntad.*

*A mis padres: **Rigoberto y Clemencia**, quienes con su inagotable esfuerzo y sacrificio supieron enseñarme a luchar por los objetivos planteados desde la infancia, en cada paso que di estuvieron ahí para apoyarme incondicionalmente.*

*A mis hermanas **Miriam y Sandra**, quienes con su gran apoyo moral me enseñaron a perseverar y levantarme el ánimo en momentos difíciles cuyos consejos fueron los que cambiaron el destino de mi vida. A mi hermano **Franklin**, compañero desde el vientre de mi querida madre, por su ayuda incondicional en clase y fuera de ella, A mi hijo **Sebastián**, por ser un ángel que está conmigo siempre, motivo por el cual le dedico mi honor y mi vida. A mis abuelitos **Gerardo y Olga**, quienes con sus consejos y experiencia de vida me enseñaron la palabra de Dios y la importancia de aplicarla a mi vida.*

*A mis amigos, **Pablo Morales (Tira flechas)**, quien es considerado como mi hermano estuvo para apoyarme moralmente en momentos difíciles sin condiciones, don de un verdadero amigo, A la Sra. **Senaida**, que con sus sabios consejos y experiencia me enseñó la responsabilidad. A mi novia **Fernanda**, por su gran apoyo y solidaridad .A los ingenieros: **Gonzalo López, Fernando Valdivieso, Santiago Cabrera**, quien con su gratitud y ayuda incondicional de gran aporte académico lograron que este tema de investigación se lleve a cabo.*

Es para mí un honor que sean parte de mis anhelos y sueños cumplidos y por cumplir, la importancia en el transcurso de mi vida ,!mil gracias!

Francisco Alcocer

AGRADECIMIENTO

*Agradezco a **Dios** por su grandeza en mi vida, por darme fuerzas y entendimiento para salir adelante y encaminarme por el camino correcto, las bendiciones que de Él fue derramadas en mí son muy importantes y me sirven para valorar la vida y aprovechar todo el tiempo que me da para sobresalir porque Él es el dueño del tiempo y de mi vida.*

A mis padres, hermano, hermanas y familia por ayudarme en este camino lleno de bendiciones.

*Agradezco a la **Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica** por su grata acogida. A los docentes de esta noble institución, quienes impartieron conocimientos para formarse como ser humano y profesional*

*Al **Ing.Mg.Gonzalo López** tutor de tesis, por su gratitud, paciencia, y orientación en este proyecto investigativo. A los maestros de “**Maquinaria Agrícola Aníbal Alvares**”, por su habilidad y destreza en trabajos técnicos, **Al Ing. Fernando Valdivieso** por permitir desarrollar el proyecto en su laboratorio quien fue un apoyo fundamental en el aporte de esta investigación..*

A todas las personas que estuvieron apoyándome en los laboratorios, y biblioteca que con su carisma y don de servicio hicieron posible que crezca intelectualmente, mis más sinceros agradecimientos.

Francisco Alcocer

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

A.- PAGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DE LA TESIS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XVI
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVII

B.- TEXTO INTRODUCCIÓN

EL PROBLEMA

Capítulo I.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico.....	2
1.2.3 Prognosis.....	2
1.3 Formulación del problema.....	2
1.3.1 Preguntas directrices.....	3
1.4 Delimitación del problema de investigación.....	3
1.4.1 De contenido.....	3
1.4.2 Contenido espacial.....	3
1.4.3 Contenido temporal.....	3

1.5 Justificación.....	4
1.6 Objetivos.....	5
1.6.1 Objetivo general.....	5
1.6.2 Objetivos específicos.....	5

MARCO TEÓRICO

Capítulo II.....	6
2.1 Antecedentes investigativos.....	6
2.2 Fundamentación filosófica.....	6
2.3 Categorías fundamentales.....	7
2.3.1 Red de categorías fundamentales.....	7
2.3.2 Compactación de suelos y materiales estabilizados	7
2.3.3 El proceso de densificación.....	8
2.3.4 Composición en volumen de las distintas fases.....	10
2.3.5 Naturaleza del suelo y la compactación.....	11
2.3.6 Secuencia de las etapas del ensayo de compactación.....	14
2.3.7 Exigencias de compactación.....	18
2.3.8 Metodos de compactación.....	19
2.3.9 Control de compactación.....	22
2.3.10 Ensayos de laboratorio.....	25
2.3.11 Elementos utilizados en el proceso de construcción de la máquina.....	27
2.3.11.1 Material del molde.....	27
2.3.11.2 Piñones de cadena.....	27
2.3.11.3 Cadenas.....	28
2.3.11.4 Engranés cónicos rectos.....	30
2.3.11.5 Motor eléctrico.....	31
2.3.11.6 Caja reductora de velocidad.....	32
2.3.12 Tabla de límites permisibles para ruido continuo o intermitente.....	33
2.3.13 Diseño de elementos mecánicos para compactación de suelos.....	33
2.4 Hipótesis.....	50
2.4.1 Hipótesis A.....	50

2.4.1 Hipótesis B.....	50
2.5 Señalamiento de las variables.....	51
2.5.1 Variable independiente.....	51
2.5.2 Términos de relación.....	51
2.5.3 Variable dependiente.....	51

METODOLOGÍA

Capítulo III.....	52
3.1 Enfoque.....	52
3.2 Modalidad y tipo de investigación.....	52
3.2.1 Modalidad básica de investigación.....	52
3.2.1.1 Campo.....	52
3.2.1.2 Experimental.....	52
3.2.1.3 Bibliográfica.....	53
3.2.2 Tipo de investigación.....	53
3.2.2.1 Explicativo o exploratoria.....	53
3.2.2.2 Descriptivo.....	53
3.2.2.3 Correlación.....	53
3.2.2.4 Experimental.....	53
3.3 Población y muestra.....	53
3.3.1 Población o universo (N).....	54
3.3.2 Muestra.....	54
3.4 Operacionalización de variables.....	55
3.4.1 Variable dependiente.....	55
3.4.2 Variable independiente.....	56
3.5 Técnicas e instrumentos.....	58
3.5.1 Técnica de recolección de la información.....	58
3.5.2 Procesamiento y análisis de la información.....	58

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Capítulo IV.....	60
4.1 Análisis de resultados.....	60
4.1.1 Ecuaciones para el cálculo de la humedad del suelo en laboratorio.....	60
4.1.2 Ecuaciones para el cálculo de la densidad del suelo en laboratorio.....	61
4.1.3 Procedimiento del ensayo.....	62
4.2 Interpretación de resultados.....	64
4.2.1 Resultados de compactación.....	64
4.2.2 Resultados de la máquina con 25 golpes.....	68
4.3 Verificación de la hipótesis.....	72
4.3.1 Prueba “t” para la densidad de compactación.....	72

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo V.....	75
5.1 Conclusiones.....	75
5.2 Recomendaciones.....	76

PROPUESTA

Capítulo VI.....	77
6.1 Datos informativos.....	77
6.2 Antecedentes de la propuesta.....	78
6.3 Justificación.....	79
6.4 Objetivos.....	79
6.5 Análisis de factibilidad.....	79
6.5.1 Análisis técnico.....	79
6.5.2 Análisis económico.....	79
6.6 Fundamentación.....	80
6.6.1 Diagrama de ejecución de diseño.....	80
6.6.2 Requisitos básicos de diseño.....	82

6.6.3 Cálculo de la velocidad de caída del pisón.....	83
6.6.4 Fuerza que se desarrolla durante el impacto.....	84
6.6.5 Aceleración y velocidad angular.....	85
6.6.6 Cálculo de la potencia en el sistema de engranes.....	86
6.6.7 Cálculo de la potencia en el piñón A.....	88
6.6.8 Cálculo de la potencia para el eje A.....	90
6.6.9 Cálculo de la potencia para el piñón de cadena.....	92
6.6.10 Cálculo de la potencia para el eje C.....	93
6.6.11 Cálculo de la potencia para la base giratoria.....	95
6.6.12 Potencia requerida para el sistema.....	98
6.6.12.1 Selección del motor.....	99
6.6.12.2 Caja reductora de velocidad.....	99
6.6.13 Parámetros de diseño para la selección de cadenas.....	100
6.6.14 Análisis de esfuerzos en la placa base.....	103
6.6.15 Cálculo del rodamiento para la base del molde.....	108
6.6.16 Análisis de fuerzas en el gancho elevador.....	111
6.6.17 Análisis de esfuerzos en los ejes C.....	113
6.6.17.1 Selección de rodamientos para el eje C.....	118
6.6.18 Análisis de esfuerzos en el eje A.....	122
6.6.18.1 Selección de rodamientos para el eje A.....	128
6.6.19 Diseño del conjunto de engranes para el eje A.....	132
6.6.20 Diseño de la viga B por fluencia.....	139
6.6.20.1 Selección del rodamiento para el eje B.....	140
6.6.21 Cálculo de la chaveta y chavetero.....	147
6.6.22 Selección del tubo guía para el pisón.....	149
6.6.23 Análisis de esfuerzos en la viga que sostiene el tubo.....	149
6.6.24 Análisis de esfuerzos en la placa base del motor.....	151
6.6.25 Análisis de esfuerzos en el pin de la rueda impulsora.....	153
6.6.26 Pernos sujetadores del motor.....	155
6.6.27 Pernos sujetadores de la caja reductora.....	157
6.6.28 Selección de la banda.....	159
6.6.29 Velocidad de compactación.....	162

6.6.30	Análisis de fuerzas en la mesa de la máquina.....	164
6.6.31	Recubrimiento de la máquina.....	166
6.7	Metodología.....	166
6.7.1	Construcción.....	166
6.7.2	Base del molde.....	166
6.7.3	Base del motor.....	167
6.7.4	Eje de piñón-engrane y chumaceras.....	167
6.7.5	Base de rodamiento.....	168
6.7.6	Piñones de cadena.....	168
6.7.7	Eje de transmisión.....	169
6.7.8	Engranajes cónicos.....	169
6.7.9	Rodamientos y chumaceras.....	169
6.7.10	Guía y pisón compactador.....	170
6.7.11	Carcasa protectora.....	171
6.7.12	Molde de ensayos proctor modificado.....	171
6.7.13	Instrumentos y equipos utilizados.....	172
6.8	Administración.....	172
6.8.1	Análisis de costos.....	172
6.8.2	Financiamiento.....	175
6.8.3	Análisis del VAN para la máquina.....	175
6.8.4	Recomendación para la operación de la máquina.....	176
6.8.5	Mantenimiento.....	176
6.8.6	Conclusiones.....	177
6.9.7	Recomendaciones.....	177

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 2.1	Algunas características y plasticidad en suelos.....	17
Tabla 2.2	Dirección nacional de vialidad (hinchamiento).....	19
Tabla 2.3	Dirección nacional de vialidad (compactación en diferentes suelos)...	22
Tabla 2.4	Tabla de límites permisibles para ruido continuo o intermitente.....	33
Tabla 3.1	Operacionalización de la variable dependiente.....	55

Tabla 3.2 Operacionalización de la variable independiente.....	56
Tabla 4.1 Ensayo de compactación manual.....	65
Tabla 4.2 Ensayos con la máquina compactadora para ensayos proctor.....	66
Tabla 4.3 Resumen de ensayos proctor.....	67
Tabla 4.4 Próctor con máquina para 25 golpes.....	68
Tabla 4.5 Resultados de tiempo de proceso de los ensayos proctor modificado..	70
Tabla 4.6 Ahorro en tiempo del proceso de compactación.....	71
Tabla 4.7 Prueba “t” pareada.....	73
Tabla 4.8 Prueba “t” tabulada.....	74
Tabla 6.1 Datos generales de la propuesta.....	77
Tabla 6.2 Cálculo experimental para el diseño con 25 golpes.....	82
Tabla 6.3 Costos de materiales mecánicos.....	172
Tabla 6.4 Costos de materiales varios.....	174
Tabla 6.5 Costos de mano de obra.....	175
Tabla 6.6 Costo total.....	175
Tabla 6.7 Análisis económico del VAN para la máquina.....	175

FIGURAS

Figura 2.1 Red de categorías fundamentales.....	7
Figura 2.2 Relación densidad seca-humedad.....	9
Figura 2.3 Densidad seca-humedad.....	9
Figura 2.4 Esferas sólidas.....	10
Figura 2.5 Cohesión entre partículas esféricas.....	10
Figura 2.6 Modelo simplificado de suelo granular.....	12
Figura 2.7 Suelo arcilloso.....	13
Figura 2.8 Actividad superficial de las arcillas.....	14
Figura 2.9 Curvas típicas para diferentes tipos de suelos.....	16
Figura 2.10 Densidad máxima y humedad óptima.....	18
Figura 2.11 Exigencias de compactación.....	19
Figura 2.12 Rodillos de compactación.....	20
Figura 2.13 Apisonador de compactación.....	20

Figura 2.14 Rodillos vibratorios.....	21
Figura 2.15 Rodillo pata de cabra.....	21
Figura 2.16 Equipo de cono y arena.....	23
Figura 2.17 Equipo de ensayo volumétrico.....	24
Figura 2.18 Equipo densímetro nuclear.....	24
Figura 2.19 Ensayo proctor hayard.....	25
Figura 2.20 Ensayo densidad relativa.....	25
Figura 2.21 Equipo para ensayo proctor.....	26
Figura 2.22 Piñones para cadena.....	27
Figura 2.23 Tensores para cadena.....	28
Figura 2.24 Partes de cadena.....	28
Figura 2.25 Movimiento de los piñones.....	29
Figura 2.26 Engranés cónicos.....	30
Figura 2.27 Nomenclatura engranes cónicos.....	31
Figura 4.1 Homogenizando la muestra.....	62
Figura 4.2 Añadir agua a la muestra.....	62
Figura 4.3 Peso del recipiente con muestra húmeda.....	63
Figura 4.4 Compactación ensayo manual.....	63
Figura 4.5 Peso del suelo compactado.....	64
Figura 4.6 Compactación automática.....	64
Figura 4.7 Curva relación/densidad máxima (manual).....	65
Figura 4.8 Curva relación/densidad máxima (manual).....	66
Figura 4.9 Resumen de ensayos proctor.....	67
Figura 4.10 Flujo del proceso del ensayo proctor modificado.....	69
Figura 4.11 Tiempo del proceso de compactación.....	70
Figura 4.12 Ahorro en tiempo del proceso de compactación.....	72
Figura 6.1 Máquina compactadora para ensayos proctor.....	78
Figura 6.2 Diagrama de ejecución de diseño.....	80
Figura 6.3 Experimento de prueba manual proctor modificado.....	83
Figura 6.4 Base del molde, elemento guía.....	85
Figura 6.5 Piñón impulsor.....	88
Figura 6.6 Eje A.....	90

Figura 6.7 Piñón para cadena.....	92
Figura 6.8 Eje secundario C.....	95
Figura 6.9 Conjunto molde y base.....	95
Figura 6.10 Rueda impulsora.....	95
Figura 6.11 Diatos experimentales de una compactación proctor modificado.....	97
Figura 6.12 Datos experimentales con un piñón de cadena.....	98
Figura 6.14 Esquema motriz piñones, cadenas.....	101
Figura 6.15 Diagrama de piñones para cadenas.....	102
Figura 6.16 Diagrama de caída del pisón.....	102
Figura 6.17 Molde proctor modificado con placa base.....	103
Figura 6.18 Diagrama de fuerzas en la base, ejes xy.....	104
Figura 6.19 Inercia con respecto a un punto en el eje x.....	104
Figura 6.20 Molde proctor estándar con placa base.....	108
Figura 6.21 Diagrama para determinar v_1	109
Figura 6.22 Diagrama para determinar v	110
Figura 6.23 Diagrama para determinar a_{23}	110
Figura 6.24 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en gancho.....	111
Figura 6.25 Montaje de elementos móviles.....	113
Figura 6.27 Diagrama de fuerzas en el eje C.....	114
Figura 6.28 Esquema motriz eje A.....	122
Figura 6.29 Diagrama de fuerzas en el eje A.....	123
Figura 6.30 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en el eje A...	123
Figura 6.31 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en el eje XZ.	124
Figura 6.32 Dimensionamiento piñón engrane.....	132
Figura 6.33 Diagrama de fuerzas piñón engrane	133
Figura 6.34 Dimensiones del eje B.....	140
Figura 6.35 Eje D.....	144
Figura 6.36 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el eje D.....	145
Figura 6.37 Chavetas rectangulares o paralelepípedos.....	147
Figura 6.38 Tubo guía para el pisón.....	149
Figura 6.39 Tubo guía con piñones de cadena.....	149
Figura 6.40 Análisis de fuerzas en la viga del apoyo D	149

Figura 6.41 Diagrama de momentos en la viga del apoyo D.....	150
Figura 6.42 Diagrama de fuerza cortante y momento flector, placa base.....	152
Figura 6.43 Diagrama de fuerza cortante y momento flector, pin.....	154
Figura 6.44 Ubicación de los pernos sobre la placa.....	155
Figura 6.45 Esquema de tensiones actuantes en la banda.....	159
Figura 6.46 Esquema de la mesa que soporta la máquina.....	164
Figura 6.47 Trazado del esfuerzo de Von Mises.....	164
Figura 6.48 Trazado del factor de seguridad.....	165
Figura 6.49 Trazado del la deformación unitaria.....	165
Figura 6.50 Construcción de base del molde.....	167
Figura 6.51 Construcción de base del motor.....	167
Figura 6.52 Conjunto piñón –engrane- chumaceras.....	167
Figura 6.53 Conjunto piñón-base de rodamiento.....	168
Figura 6.54 Conjunto piñón engrane, ejes de cadena.....	168
Figura 6.55 Conjunto ejes de transmisión.....	169
Figura 6.56 Engranés cónicos.....	169
Figura 6.57 Montaje de rodamientos.....	170
Figura 6.58 Guía y pisón compactador.....	170
Figura 6.59 Carcasa protectora de la máquina.....	171
Figura 6.60 Máquina y moldes proctor.....	171
Figura 6.61 Recomendaciones de seguridad.....	176

C.-MATERIALES DE REFERENCIA

1.Bibliografía.....	178
2.Linkografía.....	178
3.Anexos.....	180

SIMBOLOGÍA

σ : Esfuerzo

μ : Coeficiente de rozamiento

Δ : Diferencia

d_1 : Angulo primitivo

d_i : Angulo interior

d_e : Angulo exterior

ac_1 : Angulo de cabeza

ap_1 : Angulo de pie

l : Longitud de la generatriz de contacto

γ : Peso específico

ω : Humedad

e : Coeficiente de restitución

ρ : Densidad (kg/m³)

α : Aceleración angular(rad/seg)

τ : Torque(N-m)

H: Potencia

δ_x : Esfuerzo máximo

τ_{xy} : Esfuerzo de torsión

C_o : Capacidad de carga estática (N).

P_o : Carga estática equivalente (N).

f_s : Factor de esfuerzo estático.

a_1 =Confiability

" τ " = ángulo tangencial

f : Ancho de cara(pulg)

E=Módulo de elasticidad(Mpa)

RESUMEN EJECUTIVO

La investigación presenta un estudio de parámetros físicos de compactación de suelos y su efecto en la valoración de los mismos con la finalidad de obtener resultados de densidad máxima de compactación a una humedad óptima del suelo, realizado mediante una máquina compactadora de ensayos proctor, por lo cual este mecanismo reduce el tiempo en el proceso de un ensayo en laboratorio, permitiendo al laboratorista el cómodo uso sin alterar las normas estándar.

Para la construcción de esta máquina se procede a medir el tiempo en el ensayo manual llamado proctor modificado obteniendo datos que me permiten diseñar un mecanismo similar en forma automática, esta operación consiste en hacer caer un pisón estándar en un molde estándar con muestra de suelo y ver la eficacia y calidad del ensayo.

El desarrollo de este proyecto se enfocó en formas de realizar un ensayo y como mejorar este, realizando varios ensayos manuales con un tipo de suelo de subbase, obteniendo resultados favorables al estudio y a la ejecución del mismo.

La propuesta del presente tema se basó en el diseño de elementos de máquinas de compactación para laboratorio. Este diseño consta de partes móviles y partes fijas, las principales son: base principal de chumaceras, base principal del motor, guía del elemento pisón y base del molde. Mientras que en los elementos móviles se encuentran: piñones de cadena, cadenas, piñones cónicos y ejes móviles. Consta de un seguro para accidentes y un molde adaptado a la base.

CAPÍTULO 1

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA

ESTUDIO DE PARÁMETROS FÍSICOS DE COMPACTACIÓN DE SUELOS Y SU EFECTO EN VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MISMOS EN PRUEBAS DE LABORATORIO.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Actualmente, el aumento de estudios de factibilidad técnica para grandes construcciones como son: análisis de compactación en suelos, densidad, humedad, etc. Se han estado analizando de manera clásica, por lo que consultoras y laboratorios necesitan de mecanismos con alta tecnología que analice muestras para ensayo cuyo error sea mínimo y más exacto.

En el Ecuador la demanda de equipos de fiscalización en grandes construcciones como es: estructuras, puentes sistemas viales, alcantarillado, estudios de suelos, control de compactación de pistas en aeropuertos etc. Cubren con las necesidades del constructor, para el desarrollo de los ensayos de densidades en diferentes tipos de suelos según las especificaciones técnicas que la empresa consultora requiera.

Se conoce que en el laboratorio de estudios de ingeniería “Agua y Geotecnia”, demanda de equipos de alta tecnología para analizar parámetros físicos en distintos tipos de suelos, mediante la aplicación de ensayos de densidad en

campo y en laboratorio realizados con muestras obtenidas en diferentes lugares en donde se está compactando un suelo.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

El presente documento trata de un estudio de parámetros físicos de una muestra de suelo compactado mediante un sistema de ensayo manual llamado Proctor, y su efecto sobre el control de la densidad en laboratorio y en campo. El mismo que es entregado al laboratorio de “Agua y Geotecnia” en la ciudad de Latacunga. El inicio de este estudio detalla principios básicos de compactación por medio de máquinas compactadoras de suelos, este incluye conceptos principales como peso de apisonadores, velocidad máxima, altura dinámica, número de golpes, y porcentaje de compactación. Los conceptos mencionados son utilizados para ayudarnos a comprender las características de los compactadores y de los instrumentos que se utilizan en laboratorio para controlar el nivel de compactación de un suelo. Además se estudian parámetros para seleccionar un pisón de acuerdo a las normas internacionales. En otra parte de este documento se enuncian los distintos tipos de ensayos a realizarse en campo y en laboratorio, de manera que se aproveche la técnica de ensayos.

1.2.3 PROGNOSIS

Los índices de demanda de este tipo de estudios en distintos laboratorios de materiales del país de las carreras técnicas, que comprenden diseño de elementos de máquinas es importante para el desarrollo tecnológico y poblacional. En nuestro medio el laboratorio de “Agua y Geotecnia” Estudios de ingeniería, demanda de un sistema mecánico de compactación de laboratorio que realiza mediciones de compactación en una muestra de suelo ya compactado y que permite al laboratorio utilizar de manera técnica el sistema mecánico de ensayo.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mejorar la calidad de los ensayos de laboratorio y disminuir el tiempo del proceso?

1.3.1 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Existe un equipo automático que permita evaluar parámetros de compactación en suelos?

¿Existe un determinado número de golpes de compactación que debe cumplir un equipo de compactación?

¿Qué tipo de equipos e instrumentos se utilizaría para realizar las mediciones?

¿Existe suficiente criterio de diseño de un sistema de compactación para pruebas de laboratorio?

1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.4.1 DE CONTENIDO

La investigación realizada se fundamentó en el campo de la Ingeniería Mecánica, en el área de Diseño de elementos de máquinas y laboratorio de suelos.

1.4.2 CONTENIDO ESPACIAL

El tema propuesto se realizó en:

Laboratorio de suelos del Ing. Fernando Valdivieso en la ciudad de Latacunga. “Agua y Geotecnia”, estudio de suelos, control de compactaciones, sistemas de riego y agua potable, fiscalizaciones en obras civiles, ubicado en las calles Enrique Vacas Galindo y Antonia Vela, sector mini coliseo “Chiriboga Jácome” en la ciudad de Latacunga. El estudio se complementó en la biblioteca de Ingeniería Civil y Mecánica con libros que contienen esta investigación.

1.4.3 CONTENIDO TEMPORAL

El actual trabajo de investigación se desarrolló en los meses de Octubre del 2012 hasta Junio del 2013.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se logró desarrollar nuevas formas ergonómicas y fáciles de usar un equipo de ensayos proctor modificado, mediante una muestra de suelo de subbase obtenida en el campo de la obra.

En base a una amplia investigación de ensayos no destructivos se fortaleció el uso de normas de diseño mecánico, planteó la necesidad de obtener un sistema que compactó todo tipo de suelos siguiendo las especificaciones respectivas.

Los beneficios que la investigación brindó son: conocimiento de materiales y equipos de laboratorio, mejoras en la disposición y calidad del ensayo proctor modificado en diferentes tipos de suelos.

El laboratorio cuenta con un equipo para ensayos proctor modificado, este nos permitió realizar el ensayo en forma manual en una muestra de suelo, mediante el cual se obtuvo datos de densidad y humedad cuyo valor fue el principio de comparación entre una muestra compactada en forma manual, comparando con una compactación en forma automática.

El implemento de este sistema de compactación para ensayos proctor modificado, favoreció en gran parte el esfuerzo físico realizado durante el ensayo, disminuyendo el tiempo de duración, con mejoras en la calidad del ensayo realizado en la máquina.

Con esta investigación se construyó este equipo de ensayos proctor modificado, mediante la utilización de materiales de construcción, y su facilidad de adquisición en diferentes locales comerciales del país.

A través del crecimiento de la industria metalmecánica y de la construcción, con grandes avances tecnológicos que estos ámbitos han desarrollado en el mundo, existe una alta demanda de equipos sofisticados para laboratorios en materiales y en suelos respectivamente, su uso en general es muy necesario para el fortalecimiento de la investigación, en este caso la importancia de este sistema desarrolló la tecnología en equipos para laboratorio en nuestro país.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros físicos de compactación de suelos y su efecto en valoración de la calidad de los mismos en pruebas de laboratorio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los procesos y formas de compactación mediante un equipo automático.
- Determinar un cierto número de golpes para el equipo compactador
- Evaluar formas de instrumentación al ensayar la muestra
- Proponer una alternativa de solución a la falta de un sistema mecánico de compactación para muestras de suelo para el laboratorio de “Agua y Geotecnia”.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El laboratorio de suelos y materiales del propietario Ing.Fernando Efraín Valdivieso Sánchez, ubicado al frente del coliseo Chiriboga Jácome en el sector la FAE en la ciudad de Latacunga Provincia de Cotopaxi, a realizado varios estudios de compactación de suelos en obras civiles como son fiscalizaciones de vías , condominios, puentes, estadios, coliseos, etc, cuyo control de compactación se a realizado en el campo mismo de la obra, a este trabajo en general se denomina trabajo de campo o ensayo de campo, trabajo que consiste en realizar un control ya mencionado con equipos exclusivamente para trabajos de campo permitiendo investigar en un equipo para laboratorio.

La investigación en este tipo de equipo permite analizar la disponibilidad en el mercado de materiales de construcción, y la factibilidad del proyecto con parámetros de diseño del sistema mecánico debido a la demanda de consultores y contratistas que tiene la provincia .

Este análisis mencionado permite llevar una serie de ensayos para determinar la transformación de un proceso manual a un proceso mecánico en suelos estabilizados, cuya prioridad es obtener la curva densidad versus humedad para ese tipo de suelo compactado.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El tema se fundamentó en el avance tecnológico al realizar un ensayo de compactación con normas adecuadas, mediante un mecanismo avanzado que

permitió valorar la calidad de los suelos en obras civiles.

En este proyecto se realizó el control de compactación mediante un mecanismo que permitió facilitar el ensayo normal.

2.3 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

2.3.1 RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

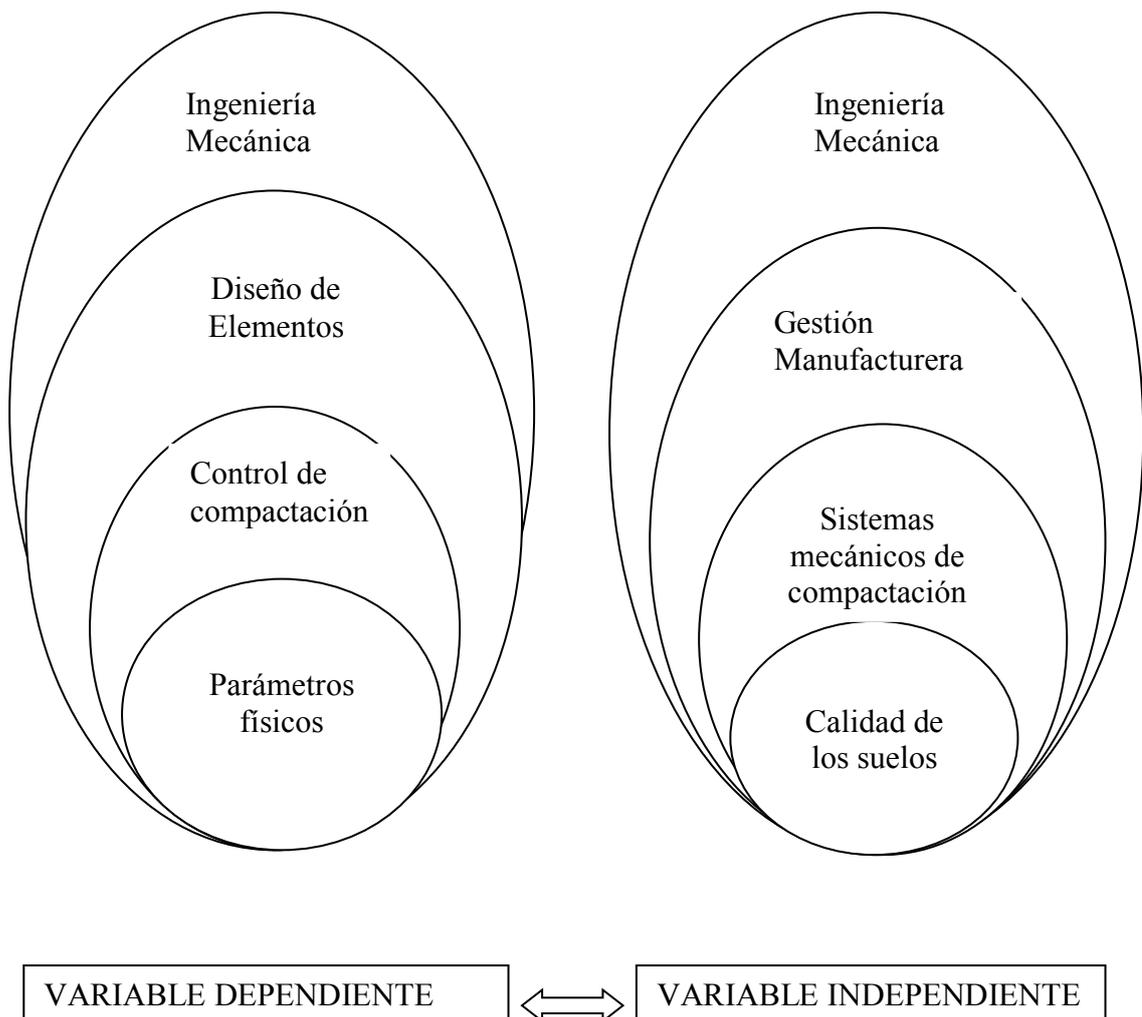


Figura 2.1 .Red de Categorías Fundamentales
Fuente: Francisco Alcocer

2.3.2 COMPACTACIÓN DE SUELOS Y MATERIALES ESTABILIZADOS.

La compactación de suelos y materiales estabilizados es el proceso por el cual se obliga a las partículas a ponerse más en contacto unas con otras. Se realiza

generalmente por medios mecánicos, produciéndose la expulsión del aire de los poros. La humedad del suelo es el peso del agua que contiene, expresado con respecto al peso del suelo seco. La densidad¹ seca se puede determinar entonces, a partir de la densidad húmeda del suelo y su porcentaje de humedad.

$$\text{Densidadseca} = \frac{\text{Densidad húmeda}}{1 + \% \text{ de humedad}} \quad \text{Ecuación (2.1)}$$

Actualmente tal ensayo se encuentra normalizado con algunas variantes. Permite obtener resultados reproducibles que ofrecen la posibilidad de emplearlos como referencia de control de densificación en obra. Las variables que entran en juego son:

- a) Energía por unidad de volumen de suelo compactado, en el trabajo mecánico de compactación, en Kg. cm/cm³. Trabajo logrado mediante impactos de un pisón.
- b) Composición en volumen de las distintas fases: partículas del suelo, aire y agua.
- c) Naturaleza del suelo y la proporción de partículas gruesas.

2.3.3 EL PROCESO DE DENSIFICACIÓN

Trabajo mecánico o energía de compactación.

La realización de ensayos de compactación, implica la entrega de un trabajo mecánico que comprende: número de golpes, altura de caída, peso del pisón, número de capas. Además, está en juego la forma de entrega de esa energía: amasado, presión estática, impacto. La entrega unitaria de trabajo, debe ser suficiente para vencer la resistencia al corte del suelo y por lo tanto, poder deformarlo de manera irreversible. Este trabajo determina la orientación de las partículas con modificación de las características mecánicas de los suelos y materiales estabilizados. La representación gráfica (figura 2.2) de la relación densidad seca – humedad, da lugar a lo que habitualmente se denomina “curva de

¹ Bowles, E. J. (1981). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil 2^{da} Edición, Pág 127.

compactación” o “curva Proctor”. La primera parte ascendente se denomina “rama seca”. El punto máximo superior es un punto singular, del cual se obtiene el valor de la “densidad seca máxima” y la “humedad óptima”. La parte descendente se conoce como “rama húmeda”.



Figura 2.2 Relación densidad seca-humedad

Fuente:http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf

Para un mismo suelo compactado con diferentes energías de compactación, los puntos correspondientes a las densidades máximas, se ordenan sobre una línea marcadamente paralela a la curva de saturación. Además sus respectivas ramas húmedas, exhiben una considerable coincidencia y paralelismo con la curva de saturación. La figura (2.3) muestra las curvas de compactación para dos energías diferentes. A mayor trabajo mecánico de compactación, se obtiene una mayor densidad seca máxima y una menor humedad óptima.

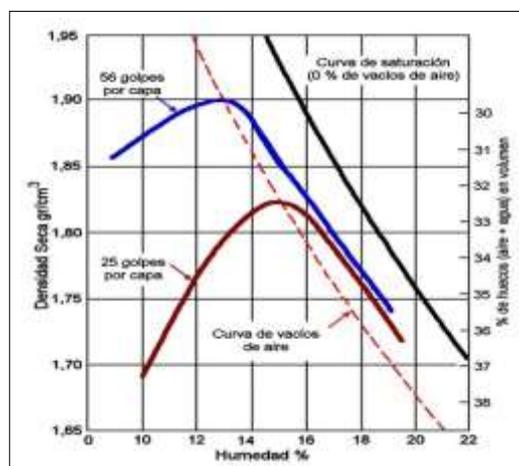


Figura 2.3 Densidad seca-humedad

Fuente:http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf

Dicho alineamiento tiene marcado paralelismo con la curva de saturación y contiene entre 4 y 6 % de aire. Ambas características responden al fenómeno físico de oclusión de aire, el que mantiene aproximadamente el mismo volumen independientemente de la energía exterior aplicada.

2.3.4 COMPOSICIÓN EN VOLUMEN DE LAS DISTINTAS FASES

En un suelo parcialmente saturado se encuentran presentes la fase sólida, las partículas, y la fase fluida constituida por agua y aire.

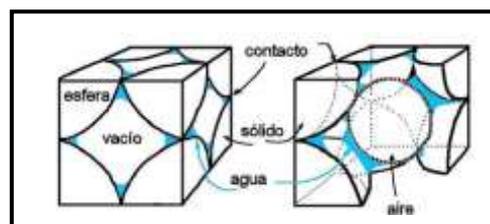


Figura 2.4 Esferas sólidas.

Fuente: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf

La figura (2,5), muestra un sistema ideal, constituido por esferas rígidas de igual tamaño en arreglo cúbico. En este estado, cada esfera tiene contacto con otras seis resultando el estado más suelto. Este suelo ideal es capaz de retener una cierta cantidad de agua, que no drena por acción gravitacional. Se dispone en forma de anillos cónicos aislados alrededor de cada contacto. Ello determina el desarrollo de tensión superficial, como se muestra en la figura. La fuerza “T” que actúa en dirección tangencial a la superficie de tales anillos de agua, opera reteniendo la misma de la acción de la gravedad. Como consecuencia las esferas se mantienen unidas por este efecto, como si existiera una presión exterior.

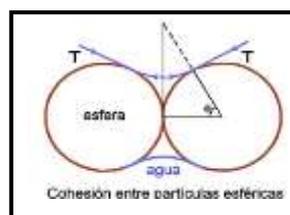


Figura 2.5 Cohesión entre partículas esféricas.

Fuente: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf

Una aproximación a este esquema se tiene en las arenas naturales de granulometría uniforme, parcialmente saturadas, donde se desarrolla una cohesión aparente dada por los anillos de agua.

2.3.5 NATURALEZA DEL SUELO Y LA COMPACTACIÓN

Los factores inherentes al suelo que condicionan la compactación, están vinculados a las características de las partículas, a saber:

- Forma.
- Textura de la superficie.
- Orientación relativa entre partículas.
- Distribución de los tamaños (granulometría).
- Actividad superficial.

Forma de las partículas.

La forma de las partículas de los suelos se aparta en distinto grado de la esférica y en consecuencia también de la de los anillos de agua en cada contacto. Simples consideraciones geométricas, indican que la superficie contactada para un mismo volumen de partículas, será tanto mayor cuando la forma de las partículas se aparte más de la esférica.

Textura de las partículas del suelo.

La textura de la superficie de las partículas condiciona el coeficiente de fricción entre las mismas y por ende la acción de un esfuerzo exterior destinado a lograr la densificación.

Orientación de las partículas.

La orientación relativa de las partículas incide en la forma de los anillos de agua. Por otra parte penderá de la forma de entrega de la energía de compactación, (golpes, amasado, presión estática, etc.).

Actividad superficial de las partículas del suelo.

Las fracciones finas son superficialmente activas, por lo tanto capaces de retener e inmovilizar agua por absorción (orientación polar). Ésta actúa como un incremento de su volumen sólido real. El agua está retenida por energías muy elevadas y la de contactos solo puede existir, cuando el contenido de humedad supera el necesario para saturar la capacidad de adsorción propia de cada suelo.

Características de un suelo granular.

En la figura (2.6) se muestra un modelo simplificado de suelo granular parcialmente saturado, sometido a esfuerzos externos " σ ". Como consecuencia de este proceso de carga, en los puntos de contacto entre partículas, quedan actuando cargas normales P y tangenciales T. El cociente entre T/P brindará un valor más o menos próximo al coeficiente de rozamiento entre partículas μ .

Cuando a este sistema se lo somete a un incremento de la carga exterior, aunque sea en forma isótropa, se producirá un incremento de la carga normal P', pudiéndose señalar las siguientes situaciones:

_ $(T/P+P') < \mu$ el sistema se encontrará en equilibrio.

_ $(T/P+P') > \mu$ el sistema colapsará produciéndose movimientos relativos entre partículas, hasta que el acomodamiento genere nuevos puntos de contacto que reestablezca nuevamente el equilibrio.

En el límite sin embargo, el agua llena los huecos, y la adición posterior de agua desplaza las partículas, dando lugar a una densidad seca más baja.

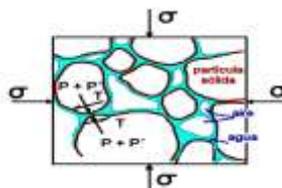


Figura 2.6 Modelo simplificado de suelo granular.

Fuente: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

Características de un suelo arcilloso.

Resulta difícil representar de modo simplificado la arcilla en un solo modelo. Sin embargo a los efectos conceptuales, se puede considerar que está formada por partículas de arcilla agrupadas en “paquetes”, según puede apreciarse en la figura (2.7). Los granos de arena, limo y los “paquetes” de arcilla, se encuentran unidos entre sí y rodeados de agua en sus puntos de contacto. Las partículas de la fracción arcillosa tienen forma de láminas, con elevadas superficie específica y actividad superficial unitaria.

El comportamiento volumétrico, depende de los movimientos relativos de las partículas gruesas y de las características de expansividad y retracción de los paquetes de arcilla. Dentro de los mismos tienen lugar las siguientes fuerzas:

- ✓ La tensión superficial en la interfase aire - agua dentro de la estructura del suelo.
- ✓ Las de interacción entre las partículas del suelo y las moléculas de agua.

El agua de absorción es un valor inherente a cada suelo cohesivo dependiendo del contenido y actividad de la fracción arcillosa.

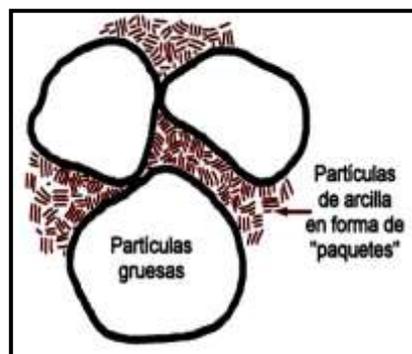


Figura 2.7 Suelo arcilloso

Fuente: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

Los iones presentes en el agua, actúan como agentes de enlace. En el agua hay iones cargados positivamente), cationes como Na^+ K^+ Ca^{++} y Al^{+++} entre otros, en número suficiente para neutralizar las cargas negativas de las partículas del suelo, haciendo el sistema eléctricamente neutro, (figura 2.8). Tanto la actividad

superficial como la presencia de tales iones, son responsables de los cambios volumétricos de los paquetes arcillosos ante un cambio del contenido de humedad.

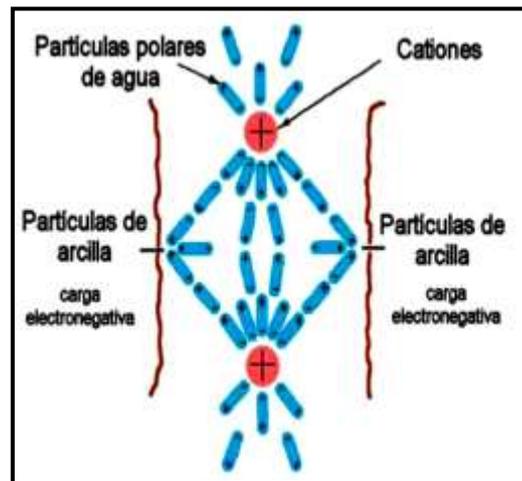


Figura 2.8 Actividad superficial de las arcillas.

Fuente:http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

2.3.6 SECUENCIA DE LAS ETAPAS DEL ENSAYO DE COMPACTACIÓN

Rama seca.

Antes de comenzar a desarrollarse la rama seca de la curva de compactación, el suelo se encuentra con un contenido muy bajo de humedad. Es el tenor de agua que determina un espesor de película del orden molecular, enérgicamente unida al suelo. Corresponde al agua adsorbida, y en este estado se considera que el suelo está seco. El suelo debe superar ese umbral de humedad, para que el agua tome el rol de lubricante entre partículas. Hasta que ello no ocurra, la fricción entre los granos impide el deslizamiento de unas partículas sobre las otras; y por consiguiente, que se densifique.

Lubricación y expulsión del aire.

La adición de agua al suelo que se distribuye alrededor de cada contacto, no solamente modifica la composición en volumen, sino que actúa como un lubricante entre partículas. La efectividad del trabajo de compactación, depende de este rol del agua. Alcanzado este efecto, se obliga a las partículas a desplazarse

hacia un empaquetamiento más cerrado, que conduce a una reducción de los poros. La presión en la fase fluida obliga al aire a drenar hacia el exterior.

En el comienzo de la rama seca, la permeabilidad al aire es alta y va decreciendo a medida que se aproxima al punto de máxima densidad. La presión que cada impacto provoca en el aire, se disipa rápidamente en tiempos del orden de 1/100 de segundo, más lentamente cerca del óptimo y no llega a ser total en la rama húmeda.

Paralelamente el volumen de agua presente, se subdivide en un número mayor de “anillos” de volumen individual menor. Consecuentemente se desarrollan menores radios de curvatura de los meniscos, que implican mayor succión y cohesión aparente entre partículas.

Cuando se eleva la energía exterior aplicada, se vence más fácilmente la resistencia al desplazamiento de partículas. Ello se manifiesta en un corrimiento de la curva de compactación hacia una mayor densidad máxima y una menor humedad óptima, como lo muestra la figura (2.2)

La presión de poros negativa de los suelos arcillosos compactados (presión de poros residual) disminuye a lo largo de la curva de compactación tendiendo a anularse en la rama húmeda.

Ello muestra que la disipación de la sobrepresión del aire es cada vez menor en estos suelos.

Densidad seca máxima y humedad óptima.

La reducción de porosidad y el incremento de la humedad, conducen a un estado límite en el que se forma una red continua de agua. Más allá de cierto contenido de humedad, el agua comienza a tener una continuidad que cierra los poros comunicados. Como consecuencia el aire queda encerrado en forma de burbujas aisladas. Éstas son retenidas en cada poro y no es posible lograr una mayor densificación en el suelo para un mismo trabajo mecánico.

Rama húmeda.

La zona húmeda comienza en el punto de máxima densidad de la curva. En él se dan las condiciones para que una proporción del aire pase al estado ocluido. En esta condición el aire se comporta como un material perfectamente elástico, lo que aumentado al incremento de humedad se traduce en una separación de las partículas con una disminución de la densidad seca.

En esta parte de la curva, la interfase curva agua/aire de las burbujas, se asimila a una membrana elástica en tensión.

Curvas típicas para diferentes tipos de suelos.

Las curvas típicas de compactación para diferentes tipos de suelos, se muestran en la figura (2.9). Puede apreciarse que para suelos con granulometría bien graduada, los valores de densidad máxima son elevados y las humedades óptimas relativamente bajas.

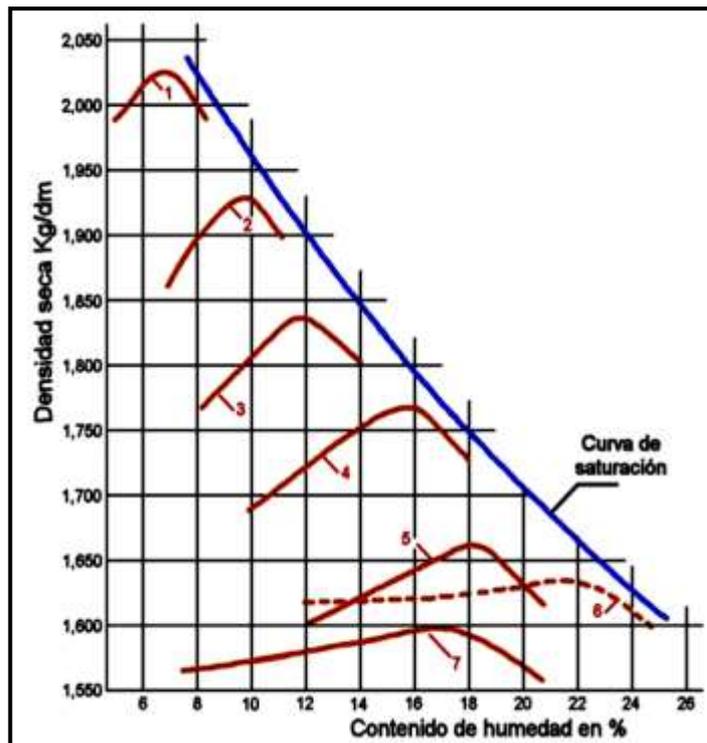


Figura 2.9 Curvas típicas para diferentes tipos de suelos.

Fuente: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

Tabla 2.1 Algunas características y plasticidad en suelos

Características y plasticidad de los suelos						
N°	Descripción	Arena	Limo	Arcilla	LI	I.P
1	Granular grueso bien graduado	68	10	2	16	NP
2	Granular medio bien graduado	78	15	13	16	NP
3	Granular mediamente graduado	73	9	18	22	4
4	Limo Arenoso con Arcilla	32	33	35	28	9
5	Limo –Arcilloso	5	64	31	36	15
6	Loes Arenoso	5	85	10	26	2
7	Arcilla Pesada	6	22	72	67	40
8	Arena mal Graduada	94		6		NP

Fuente:http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

En los suelos finos, las densidades secas máximas son tanto más elevadas cuando mejor graduada es su granulometría, sin exceso de arcilla.

Las arenas limosas son en general las que dan densidades secas más elevadas, las arcillas puras por el contrario dan densidades secas relativamente bajas, con humedades óptimas más elevadas.

En el caso de las arenas uniformes (curva 2.9), se obtienen densidades bajas y se evidencia una curva más achatada.

Las curvas Proctor de arcillas son con mucha frecuencia más aplastadas que las curvas de arenas y limo arenosas.

Aplicación de los valores de densidad máxima y humedad óptima.

En la figura 2.10 se han representado una curva Proctor y la resistencia mecánica del suelo para diferentes condiciones de densidad y humedad.

Se ha considerado que el suelo puede saturarse manteniendo su densidad seca, hipótesis que dista ignificativamente de la realidad, particularmente en presencia de suelos cohesivos.

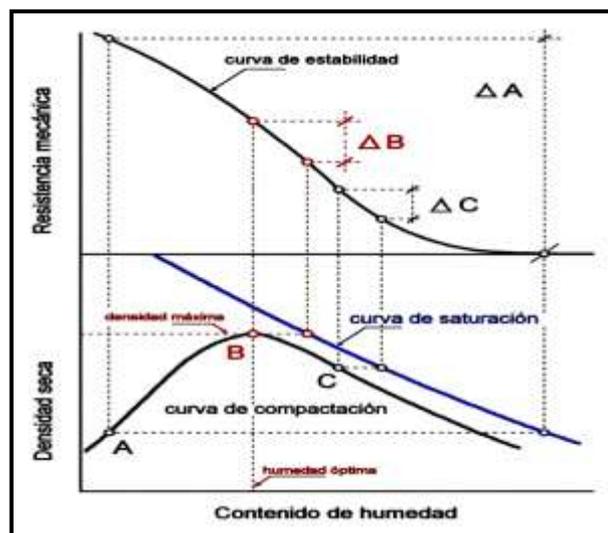


Figura 2.10 Densidad máxima y humedad óptima.

Fuente: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

En la rama seca, punto “A”, el suelo alcanza una elevada resistencia mecánica. Esta situación puede evolucionar hacia una muy baja resistencia si el suelo se satura, dando como resultado una diferencia de resistencias “ ΔA ”. Para el punto “B”, correspondiente a la densidad seca máxima y humedad óptima, ocurre algo similar. No obstante ser la resistencia mecánica inferior a la que proporciona el punto “A”, la pérdida por saturación “ ΔB ”, resulta menor.

En la rama húmeda, el punto “C” ofrece similares condiciones, salvo que el entorno “ ΔC ” de resistencias, se ubica en valores inferiores. En el concepto de estabilización de suelos, la compactación es la primera forma de proporcionarla. Puede además señalarse, como el proceso por el cual se mejora el comportamiento de un material. Siendo el criterio dominante el mantener sus propiedades en un cierto entorno bajo las condiciones de servicio a que estará sometido. Por esta razón, la elección de la densidad máxima y la humedad óptima quedan justificadas.

2.3.7 EXIGENCIAS DE COMPACTACIÓN.

La experiencia acumulada en reparticiones viales, ha conducido a recomendaciones y especificaciones sobre la forma de compactar los diferentes suelos.

En la figura 2.11 se señala cómo el grado de densificación, se emplea para definir condiciones de diseño y de exigencias de densificación en obra.

En la siguiente tabla, se sintetizan los criterios de la Dirección Nacional de Vialidad para la densificación de suelos en capas de subrasante y base de asiento. Se expresan como un porcentaje de la densidad máxima de un determinado ensayo de compactación.

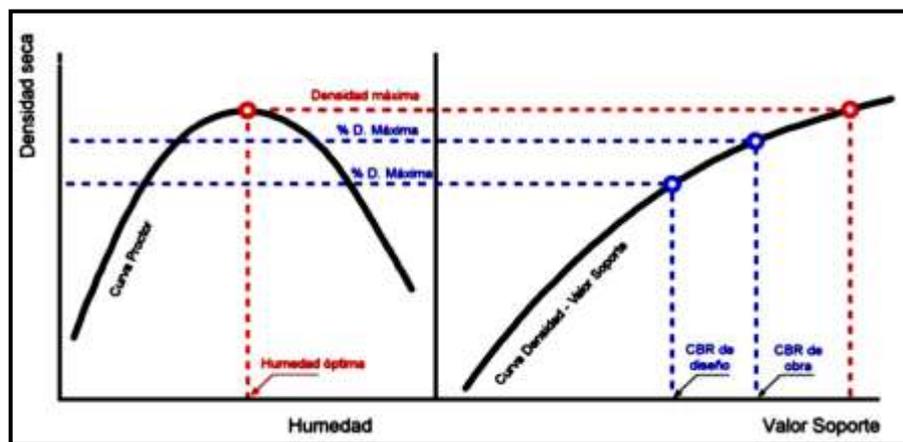


Figura 2.11 Exigencias de compactación

Fuente: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf

Tabla 2.2 Dirección Nacional de Vialidad

Clasificación HRB	HINCHAMIENTO						Exigencia de compactación en obra		CBR de diseño
	≤ 2 %			> 2 %			(A)	(B)	
	Ensayo	Fino	Granular	Ensayo	Fino	Granular			
A-1	AASHTO T-180	II	V	AASHTO T-99	I	IV	100 %	95 %	95 %
A-2							95 %	90 %	90 %
A-3							95 %	90 %	90 %
A-4							95 %	90 %	90 %
A-5	AASHTO T-99	I	IV				100 %	95 %	95 %
A-6							100 %	95 %	95 %
A-7							100 %	95 %	95 %

Fuente: http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf

2.3.8 MÉTODOS DE COMPACTACIÓN.

Compactación estática o por presión

La compactación se logra utilizando una máquina pesada, cuyo peso comprime las partículas del suelo, sin necesidad de movimiento vibratorio.

Por ejemplo: Rodillo estático o rodillo liso.



Figura 2.12 Rodillos de compactación.

Fuente: <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/compactacion-suelos-ppt.pdf>

Compactación por impacto

La compactación es producida por una placa apisonadora que golpea y se separa del suelo a alta velocidad. Por ejemplo : Un apisonador.



Figura 2.13 Apisonador de compactación.

Fuente: <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/compactacion-suelos-ppt.pdf>

Compactación por vibración

La compactación se logra aplicando al suelo vibraciones de alta frecuencia. Por ejemplo:

Placa o rodillos vibratorios.



Figura 2.14 Rodillos vibratorios.

Fuente: <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/compactacion-suelos-ppt.pdf>.

Compactación por amasado

La compactación se logra aplicando al suelo altas presiones distribuidas en áreas más pequeñas que los rodillos lisos. Por ejemplo: Un rodillo “Pata de Cabra”.



Figura 2.15 Rodillo pata de cabra.

Fuente: <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/compactacion-suelos-ppt.pdf>.

Características principales

Amasado Rodillo pata de cabra.....PC.

Presión Rodillo neumático o liso, tractorRN, RL, TR.

Impacto Canguro y pisonesC, P.

Vibración.... Rodillos y ranas.... RV, R.

Mixtos.... Presión y vibración.... PV.

Comparación de diferentes suelos.

En la tabla 2.3 se observa los siguientes tipos de suelo compactado.

Tabla 2.3 Dirección Nacional de Vialidad , compactación de diferentes suelos

COMPACTACIÓN DE DIFERENTES SUELOS			
N°	Suelo	Energía de Compactación(gr/cm ²)	humedad (ω)%
1	Cascajo Arenoso	2.19	8
2	Arena	2.00	12
3	Arcilla Arenosa	1.84	14
4	Arcilla Limosa	1.65	15
5	Arcilla Plástica	0.62	18

Fuente: Laboratorio de suelos “Agua y geotecnia”

2.3.9 CONTROL DE COMPACTACIÓN

La densidad como control

La compactación se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo. Sin embargo, resulta en un parámetro indirecto para medir o calificar las propiedades mecánicas. Para ello existe una muy amplia correlación experimental, que avala su empleo con este propósito. En muy contadas oportunidades se requiere el uso directo de la densidad.

Ensayos de control de compactación

Los controles en el camino pueden ser destructivos o no destructivos. Los ensayos destructivos involucran la excavación y remoción de parte de la capa, mientras que los ensayos no destructivos miden indirectamente por medio de radiaciones nucleares.

Ensayos destructivos

Comprenden las siguientes etapas:

Excavación del material de la capa a controlar. La dimensión de la excavación dependerá del tamaño máximo del agregado. Se determina el peso del material extraído, en laboratorio.

- Se determina la humedad de la muestra en laboratorio.
- Se mide el volumen de la excavación realizada. Las técnicas más comúnmente empleadas son las del cono de arena y la del volumenómetro a membrana. Según muestran las figuras(2.16) y (2.17).
- Se calcula la densidad seca como cociente entre el peso de la muestra seca y el volumen que ocupaba en la capa.
- Se compara con los requerimientos de densificación especificados.

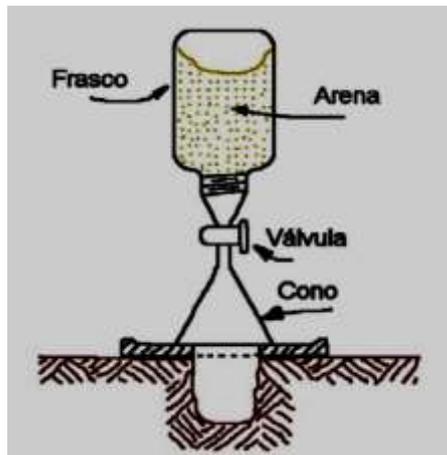


Figura 2.16 Equipo de cono y arena

Fuente:http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

Existen numerosos problemas asociados con los ensayos de naturaleza destructiva. Primero, es difícil y costoso obtener un número suficiente de muestras, para un análisis estadístico de los resultados de los ensayos de densidad. El volumen de material involucrado en cada ensayo constituye un porcentaje extremadamente pequeño del volumen total de la capa controlada. Segundo, las partículas de gran tamaño presentes en el suelo, obligan a una corrección de la

densidad. Del mismo modo en que se condiciona el tamaño máximo de las partículas en los ensayos de compactación de laboratorio.

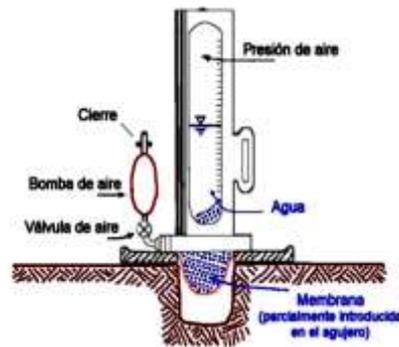


Figura 2.17 Equipo de ensayo volumétrico.

Fuente:http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

Ensayos no destructivos

El empleo de isótopos radioactivos, posibilita medir la densidad y la humedad en forma muy rápida y precisa. En el mismo tiempo en que se realiza determinación densidad humedad por medios destructivos, se pueden realizar decenas de ensayos con un núcleo densímetro. Ello posibilita la verificación inmediata de resultados y el tratamiento estadístico de los mismos. La desventaja de este método radica en el elevado costo inicial del equipo y los potenciales daños por acumulación de radiación. No obstante debe señalarse que empleado correctamente por un operador durante todo un año, el nivel de radiación acumulada resulta ser inferior a la que se recibe en una radiografía dental. La figura 2.18 muestra las dos formas más usuales de medición con equipos portátiles: medición directa y retro dispersión.



Figura 2.18 Equipo densímetro nuclear

Fuente:http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactación_de_Suelos.pdf.

La rapidez y precisión del ensayo permite seguir el proceso de compactación y efectuar correcciones tendientes a su optimización.

2.3.10 ENSAYOS DE LABORATORIO

Suelos cohesivos —————> Ensayo proctor, ensayo Hayard



Figura 2.19 Ensayo proctor hayard

Fuente:<http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/compactacion-suelos-ppt.pdf>.

Suelos granulares ensayo —————> Densidad relativa

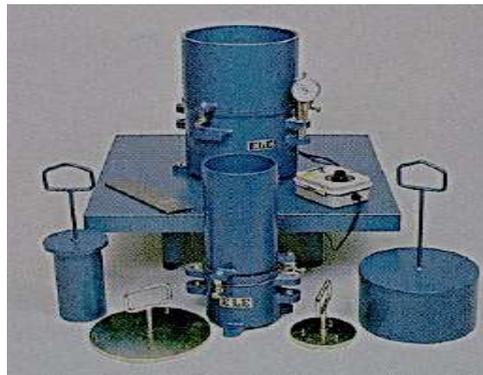


Figura 2.20 Ensayo densidad relativa

Fuente:http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.

Ensayo de compactación en laboratorio

En la actualidad existen distintos métodos para reproducir en laboratorio las condiciones de compactación en obra. El primero y más difundido es debido al Dr. R. R. proctor (1933) y es conocido como ensayo proctor. La prueba consiste

en compactar el suelo a emplear en tres capas dentro de un molde de forma y dimensiones normalizadas, por medio de 25 golpes en cada una de ellas con un pisón de 2,5 [kg] de peso, que se deja caer libremente desde una altura de 30,5 [cm] (Fig 2.21).

Con este procedimiento proctor observó que para un suelo dado, a contenido de humedad creciente incorporado a la masa del mismo, se obtenían densidades secas sucesivamente más altas (mejor grado de compactación). Así mismo, notó que esa tendencia no se mantenía indefinidamente si no que, al superar un cierto valor la humedad agregada, las densidades secas disminuían, con lo cual las condiciones empeoraban. Es decir, puso en evidencia que, para un suelo dado y a determinada energía de compactación, existe un valor de “Humedad Óptima” con la cual puede alcanzarse la “Máxima Densidad Seca”.



Figura 2.21 Equipo Para ensayo Proctor.

Fuente: <http://ntics.fra.utn.edu.ar/portal/PDFs/compactacion.pdf>

El Ensayo Proctor Estándar también es conocido como Ensayo AASHTO T-99

Todo método de compactación, sea por impacto, como es el caso del Ensayo Proctor, o bien por amasado, vibración o compresión estática o dinámica, produce estabilización del suelo al transferirle energía al mismo.

Ciertamente, no existe equipo de compactación aplicable al terreno que sea contraparte o comparable al ensayo de impacto en el laboratorio (a diferencia de lo que ocurre en el caso de ensayos de amasado, vibración o compresión de

laboratorio que encuentran su contraparte en los rodillos pata de cabra, vibro-compactadores, de rueda lisa, etc.).

2.3.11 ELEMENTOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA

En la figura (2.21) se muestra el equipo esencial para el ensayo de compactación el cual tendrá un cambio en su geometría pero sin que afecte sus dimensiones estándar.

En el molde proctor se dará un torneado de la base principal para que vaya acoplado en la base giratoria que estara en movimiento.

2.3.11.1 Material del molde

Como se va a trabajar con suelo seco y a veces con suelo húmedo el material que debe estar construído el molde es de acero inoxidable, en nuestro medio existen muchos materiales comerciales como es Aluminio pero con un costo elevado asi que una alternativa de solución es adquirir el molde en acero estructural y luego pintarle con una pintura epóxica que disminuya el riesgo de oxidarse.

2.3.11.2 Piñones de cadena



Figura 2.22 Piñones para cadena.
Fuente: Catálogo PTC

Son utilizados para dar movimiento y a la ves transmitir potencia mediante cadenas, dependiendo de la fuerza motriz existen de diferentes tipos de materiales

entre los más conocidos en el mercado son los para cadena de rodillos según DIN8187, tensores para cadena tipo “TEKS” figura (2.23).



Figura 2.23 Tensores para cadena.
Fuente:Catálogo PTC

2.3.11.3 Cadenas

Entre los diversos tipos de cadenas empleados en transmisiones de potencia las más usadas son las cadenas de rodillos. Las partes de que consta una cadena de rodillos son las que se presentan en la figura(2.24).

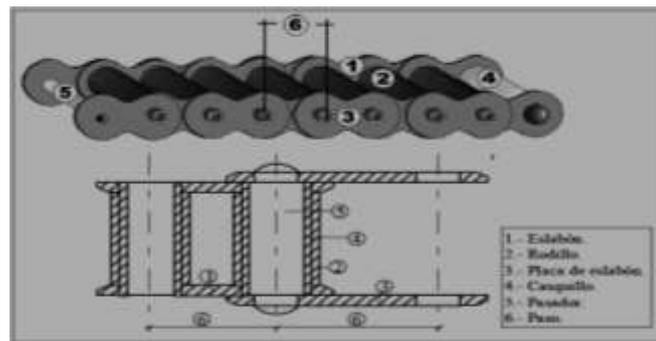


Figura 2.24 Partes de cadena.
Fuente:Catálogo PTC

Las fuerzas que actúan son prácticamente las mismas que en las correas excepto que pueden producirse cargas importantes debido al impacto cuando los rodillos establecen contacto con los dientes de los piñones. Los piñones tienen relativamente pocos dientes.

En la figura siguiente se presenta un piñón con su cadena correspondiente en dos instantes del movimiento

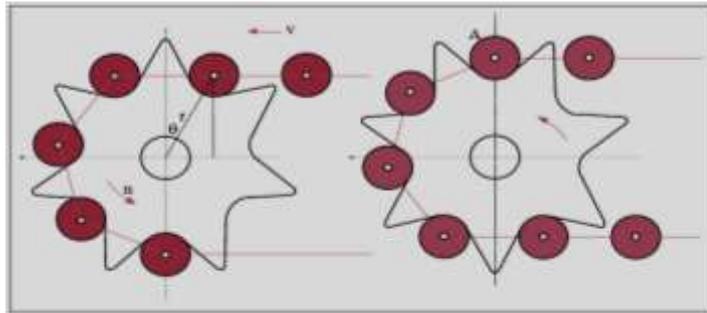


Figura 2.25 Movimiento de los piñones.

Fuente:<http://cadenas/pdf>

Con esta figura se trata de explicar el fenómeno denominado acción de cuerda característico de estas transmisiones.

Como se observa en la figura (2.25) el incremento de radio que experimenta el rodillo desde que entra en contacto con él hasta que gira un ángulo. Dicho incremento es tanto más grande cuanto menor es el número de dientes. Se acepta de forma práctica que cuando el número de dientes del piñón iguala o supera el de 25, dicho incremento es despreciable y la cadena no brinca.

Se recomienda que el número mínimo de dientes del piñón más pequeño de una transmisión por cadena sea:

- $N_{\text{diente}} = 12$ baja velocidad
- $N_{\text{dientes}} = 17$ media velocidad
- $N_{\text{dientes}} = 21$ alta velocidad

Se debe entender por velocidad baja de cadena cuando es menor de 2 m/s y por velocidad alta cuando supera los 20 m/s.

El montaje de una cadena, es sumamente sencillo y requiere pocas atenciones, se precisa que:

El montaje de piñones cumpla:

- Que mantengan un paralelismo entre piñón conductor y piñón conducido. Para su comprobación es frecuente recurrir a dos reglas que situadas ambos lados de los piñones indican de forma muy clara el paralelismo de montaje.

- Que los piñones además de paralelos se mantengan en un plano perfecto.
- Que el eje o el árbol sobre el que se monten los piñones no tengan holguras ni estén descentrados lo que hace que aparezcan brincos y tensiones anómalas.

La colocación de la cadena cumpla:

- Que no ofrezca ni exceso, ni defecto de tensión. En caso de exceso se acorta su vida útil, en el caso de defecto tiende a salirse.

2.3.11.4 Engranajes cónicos rectos

Este tipo de engranes al igual que otros tipos de engranes, representan una forma desarrollada de transmisión capaces de aportar formas y resistencia imposibles de obtener con engranes de dientes rectos. Se construyen con dientes rectos o espirales tallados sobre conos. Se aplican normalmente a ejes que se cortan. En su fabricación se sustituyen los cilindros por conos primitivos, su representación es :

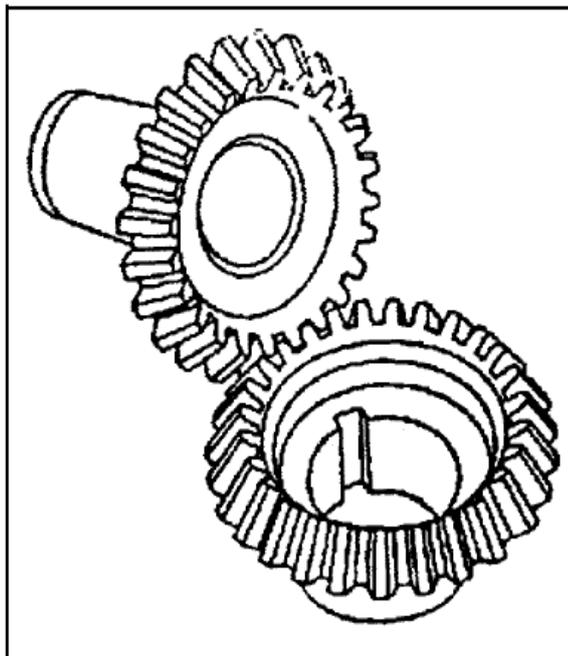


Figura 2.26 Engranajes cónicos
Fuente:<http://tema8/conicos/pdf>

En la siguiente figura se representa la nomenclatura normalizada de las partes.

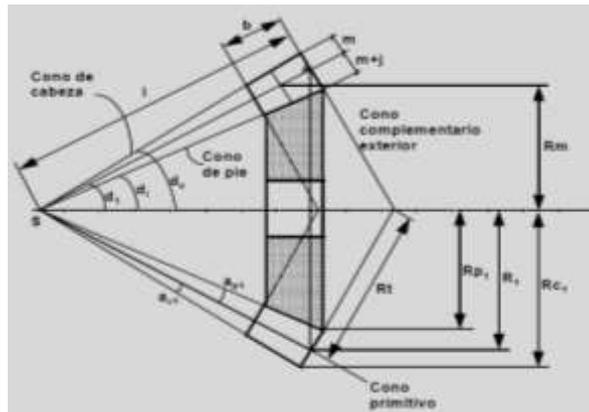


Figura 2.27 Nomenclatura engranajes cónicos
Fuente:<http://tema8/conicos/pdf>

R_1 = Radio primitivo

R_{c1} = Radio de cabeza

R_{p1} = Radio de pie

R_{t1} = Radio del desarrollo en la construcción de Tredgold

R_{m1} = Radio medio

d_1 = Ángulo primitivo

d_i = Ángulo interior

d_e = Ángulo exterior

a_{c1} = Ángulo de cabeza

a_{p1} = Ángulo de pie

l = Longitud de la generatriz de contacto

2.3.11.5 Motor eléctrico

Elemento que se utilizan para convertir la energía eléctrica en mecánica, con medios electromagnéticos. Dos principios físicos relacionados entre sí sirven de

base al funcionamiento de los motores. El primero es el principio de la inducción descubierto por el científico e inventor británico Michael Faraday en 1831. Si un conductor se mueve a través de un campo magnético, o si está situado en las proximidades de otro conductor por el que circula una corriente de intensidad variable, se establece o se induce una corriente eléctrica en el primer conductor.

El campo magnético de un imán permanente sólo tiene fuerza suficiente como para hacer funcionar una dinamo pequeña o motor. Por ello, los electroimanes se emplean en máquinas grandes. los motores tienen dos unidades básicas: el inductor, que crea el campo magnético y que suele ser un electroimán, y la armadura o inducido, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente inducida en un generador, o la corriente de excitación en el caso del motor. La armadura es por lo general un núcleo de hierro dulce laminado, alrededor del cual se enrollan los cables conductores.

2.3.11.6 Caja reductora de velocidad

Representa una serie de elementos de transmisión para diferentes potencias, diseñados y construidas con las técnicas más avanzadas en el campo de la ingeniería tienen funcionamiento silencioso.

Datos constructivos

Carcasas: los cuerpos y tapas son de fundición gris de alta calidad y resistencia de diseño sólido están ampliamente dimensionadas para poder soportar grandes esfuerzos y vibraciones.

Sinfines: Generalmente los tornillos sinfines son de hélice a derecha, y construidos con acero aleado de alta resistencia, cementados y templados.

Engranajes: Los piñones y ruedas primarias son de dentado helicoidal y construidos con acero de alta calidad.

Ejes de salida: Dimensionados ampliamente, son construidos con aceros aleados y rectificadas, pueden ser macisos o huecos.

2.4 Tabla de límites permisibles para ruido continuo o intermitente

Máxima duración de exposición diaria	Nivel de presión sonora dB(A)
8 horas	85
4 horas	90
2 horas	95
1 hora	100
1/2 hora	105
¼ hora	110
1/8 hora	115

Fuente: [<http://www.utp.edu.co/~hagonza/pdf/legisruido.pdf>]

Recomendaciones para bajar el ruido

El ruido generado por el impacto del pisón en el suelo es de un nivel bajo ya que el mismo suelo sirve como aislante sonoro tomando una medición con el decibelímetro esta entre 1 y dos decibeles mientras vaya aumentando el número de golpes incrementará el rango en una mínima proporción. Pero para evitar el sonido del impacto se recomienda utilizar tapones auditivos de hasta 30 dB, suficiente para no sentir incomodidad.

2.3.13 DISEÑO DE ELEMENTOS MECÁNICOS PARA COMPACTACIÓN

Cálculo de la velocidad de caída²

$$v_f^2 = v_0^2 - 2gh \quad \text{Ecuación 2.7.}$$

Dónde:

v_0 = Velocidad inicial

g = Gravedad = 9.81 m/seg²

h = Altura de caída

Velocidad del pisón al contacto con el suelo

$$v_f = \sqrt{v_0^2 + 2gh} \quad \text{Ecuación 2.8.}$$

² 3. Hibbeler, R. C. (2004). Mecánica vectorial para ingenieros (segunda ed., Vol. 1). pág 425

Ley de conservación del momento

$$mv = mv' + F * t \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Dónde:

m = Masa

v = vf

V' = Velocidad después del impacto

F= Fuerza promedio

t = Tiempo de impacto

Coefficiente de restitución

$$e = -\frac{(v1' - v2')}{(v1 - v2)} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Coefficiente de restitución, cuerpos en contacto

$$e = \frac{(-v2')}{(v2)} = -\frac{(-v')}{(vf)} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Fuerza de caída del piñón

$$F = m * vf * \frac{(1 + e)}{t} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Fuerza que se desarrolla durante el impacto

$$F = m * (1 + e) * \frac{\sqrt{v_0^2 - 2gh}}{t} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Aceleración angular

$$\alpha_B = \left(\frac{r_A}{r_B}\right) \alpha_A \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Dónde:

rA = radio del piñón A.

rB = radio del engrane B.

α_A = Aceleración angular del piñón A.

Velocidad angular

$$W_B = \alpha_B * t \left(\frac{\text{rad}}{\text{seg}} \right). \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Dónde:

α_B = aceleración angular (rad/seg²).

t = tiempo (seg).

Cálculo de las inercias sección circular

$$I_{GB} = \frac{1}{2} m r^2 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right). \quad \text{Ecuación 2.16.}$$

Masa

$$m = \rho * V \text{ (kg)} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Dónde:

ρ = densidad (kg/m³)

V = volumen (m³)

Fuerza de rozamiento

$$F_r = \mu_d * m * g \text{ (N)} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Dónde:

μ_d = Coeficiente dinámico

m = masa (kg)

Fuerza total

$$F = \frac{M_t}{r} + F_r \text{ (N)} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Torsión.

$$\tau = I * \alpha_B \text{ (Kg)/m}^2 \quad \text{Ecuación 2.20}$$

I = inercia.

α_B = Aceleración angular

Torque del engrane

$$T = F * r \text{ (Nm)}$$

Ecuación 2.21

Dónde:

F = Fuerza (N)

r = radio (m)

Potencia del engrane

$$H = T * \alpha \text{ (Hp)}$$

Ecuación 2.22

Potencia total

$$H_{\text{Sis}} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6$$

Ecuación 2.23

Potencia de la caja reductora de velocidad.

$$H_c = \frac{H_{\text{Sis}} * R}{100}$$

Ecuación 2.24

Dónde:

H_{Sis} = Potencia de entrada (wats)

R = Rendimiento del sistema

Velocidad lineal en la caja

$$H_{\text{nom}} = H_c * fs$$

Ecuación 2.25

Donde:

H_c = potencia que absorbe la caja reductora (hp)

fs = factor de servicio

Parámetros de diseño para selección de cadenas

Diámetro de paso de las ruedas dentadas

$$D1 = \rho \operatorname{sen} \left(\frac{180^\circ}{N1} \right) \quad \text{Ecuación 2.26}$$

Dónde:

p = paso.

N1 = número de dientes.

Longitud de la cadena

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C} \quad \text{Ecuación 2.27}$$

Dónde:

N1 = número de dientes del piñón.

N2 = número de dientes del piñón conducido.

La distancia central real

$$C = \frac{1}{4} \left[1116 - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left[1116 - \frac{N_2 + N_1}{2} \right]^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right] \quad \text{Ecuación 2.28}$$

Fuerza de tracción en la cadena

$$Tt = D. (Pc + N) \text{ kg/m} \quad \text{Ecuación 2.29}$$

Dónde:

Tt = Fuerza de tracción máxima

D = Desnivel entre ejes

Pc = Peso de la cadena

N = Carga por metro de cadena (kg/m).

Tracción real de trabajo

$$Tr = 1,2 \times C1 \times C2 \times Tt \text{ (Kg)} \quad \text{Ecuación 2.30}$$

Dónde:

C1 = Coeficiente reductor debido a condiciones de trabajo y mantenimiento.

C2 = Coeficiente corrector de tiempo de trabajo

Análisis de esfuerzos en la placa base

Inercia con respecto al eje x.

$$I_p = \frac{\pi * r^4}{2} \quad \text{Ecuación 2.31}$$

Dónde:

r = Radio del círculo

Esfuerzo máximo

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 2.32}$$

Dónde:

Mc = Esfuerzo máximo

I = Inercia

Esfuerzo efectivo de Von Misses

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ecuación 2.33}$$

Dónde:

σ_x = Esfuerzo máximo

τ_{xy}^2 = Esfuerzo de torsión

Factor de seguridad

$$n_d = \frac{s_y}{\sigma} \quad \text{Ecuación 2.34}$$

Dónde:

s_y = límite de fluencia del material.

σ = Esfuerzo máximo.

Diseño a fatiga

$$Se' = 0.5(Sut) \quad \text{Ecuación 2.35}$$

Se' = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra en viga rotatoria.

(Sut) = Límite último a la tracción.

El límite de resistencia a la fatiga se calcula mediante la ecuación

$$Se = K_a K_b K_c K_d K_e K_f Se' \quad \text{Ecuación 2.41}$$

Factor de carga a fatiga

$$n = \frac{Se}{\sigma} \quad \text{Ecuación 2.42}$$

Análisis de fuerzas en el gancho elevador

Esfuerzo flexionante:

$$\sigma_{\text{Flexión}} = \frac{6 * (M_{\text{max}})}{bh^2} \quad \text{Ecuación 2.43}$$

Dónde:

M_{max} = Momento máximo (N-m)

bh^2 = Área de la sección (m^2)

Esfuerzo equivalente

$$\sigma_{\text{eq}} = \sigma_a = \sqrt{\left(\frac{6 * M_{\text{máx}}}{bh^2}\right)^2} \quad \text{Ecuación 2.44}$$

Deflexión de una viga en voladizo

$$Y_{\text{max}} = -\frac{F * a^3}{6 * E * I} (a - 3l) \quad \text{Ecuación 2.45}$$

Dónde:

l = Longitud de la placa

a = Distancia a la carga aplicada

E = Límite elástico

Módulo de la sección circular

$$\frac{I}{c} = \frac{\pi * d^3}{32} = 0.0982 d^3 \quad \text{Ecuación 2.46}$$

Dónde:

d = Diámetro a calcular

Diseño a Fatiga del eje C

Esfuerzo sometido a flexión y axial

$$\sigma_a = \frac{32 * M_{\text{máx}}}{\pi * d^3} \quad \text{Ecuación 2.47}$$

$$\sigma_m = \frac{32 * M_{\text{máx}}}{\pi * d^3} \quad \text{Ecuación 2.48}$$

Dónde:

σ_a = Esfuerzo flexionante

$M_{\text{máx}}$ = Momento máximo (N/m)

Esfuerzos sometidos a torsión

$$\tau_m = \frac{16 * \tau}{\pi * d^3} \quad \text{Ecuación 2.49}$$

Dónde:

τ = Torque sometido al eje (N-m)

Utilizando la ecuación de Soderberg se tiene un factor de seguridad (n)

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y}} \quad \text{Ecuación 2.50}$$

Deflexión en el eje

Deflexión máxima en voladizo

$$Y_{\text{máx}} = -\frac{F * l^3}{3 * E * I} \quad \text{Ecuación 2.56}$$

l = longitud del eje

Selección de rodamientos

$$RA = \sqrt{RAy^2 + RAz^2}(\text{N}) \quad \text{Ecuación 2.57}$$

Dónde:

RAy = Reacción en el punto Ay

RAz = Reacción en el punto Az

Carga dinámica

$$P = X * Fr + Y * Fa \quad \text{Ecuación 2.58}$$

X : Factor radial

Y : Factor de empuje

F_a : Carga de empuje

Fr : Carga radial aplicada

Igualdad de cargas

$$P = Fr \quad \text{Ecuación. 2.59}$$

Capacidad de carga estática (N)

$$Co = fs.Po \quad \text{Ecuación. 2.60}$$

Dónde:

Co : Capacidad de carga estática (N)

Po : Carga estática equivalente (N)

fs : Factor de esfuerzo estático

La capacidad de carga dinámica requerida

$$C = P^p \sqrt{\frac{L_{10h} * n * 60}{1000000 a_1 a_{23}}} \quad \text{Ecuación 2.61}$$

L_{10h} : Duración nominal en horas de servicio.

a_1 : Factor de ajuste de la duración, por fiabilidad.

a_{23} : Factor combinado de los factores a_2 y a_3 (para el material y la lubricación)

p = Factor tipo de rodamiento

Diámetro medio

$$d_m = \frac{d + D}{2} \quad \text{Ecuación 2.62}$$

Dónde:

d = Diámetro menor

D = Diámetro mayor

Relación de viscosidades

$$k = \frac{v}{v_1} \quad \text{Ecuación 2.64}$$

Diseño de un conjunto de engranes para el eje A

$$d_1 = \frac{N_p}{d_p} \quad \text{Ecuación 2.65}$$

Dónde:

N_p = Número de dientes del piñón

d_p = Diámetro de paso

$$d_1 = \frac{N_G}{d_p} \quad \text{Ecuación 2.66}$$

Dónde:

N_G = Número de dientes del piñón

d_p = Diámetro de paso

Componente radial y axial

$$W^r = F \tan 20^\circ \cos \gamma$$

Ecuación 2.67

$$W^a = F \tan 20^\circ \sin \gamma$$

Ecuación 2.68

Dónde: F = Fuerza

γ = Ángulo tangencial

El torque del engrane se calcula de la siguiente forma

$$T = W^t * \frac{d_2}{2}$$

Ecuación 2.69

Dónde:

W^t = Componente tangencial

d_2 = Diámetro del engrane

Factor de distribución de carga

$$K_m = K_{mb} + 0.036F^2$$

Ecuación 2.70

F = Ancho de cara

Factor de ciclos de esfuerzos de resistencia a la picadura

$$CL = 3.4822NL^{-0.0602}$$

Ecuación 2.71

N = número de revoluciones del piñón

Factor de ciclos de esfuerzos de resistencia a la flexión

$$(K_L)_G = 1.6831(N_L)^{-0.0323}$$

Ecuación 2.72

N_L = Ciclos del piñón

Factor de confiabilidad K_R

$$K_R = 0.50 - 0.25 \log (1 - R) \quad \text{Ecuación 2.73}$$

Dónde:

R= Revoluciones del piñón

Factor de curvatura en el sentido longitudinal de resistencia a la flexión

$$K_x = Y_\beta = 1 \quad \text{Ecuación 2.74}$$

Factor de coronamiento por picadura

$$C_{xc} = Z_{xc} \quad \text{Ecuación 2.75}$$

Factor de tamaño por flexión.

$$K_s = 0.4867 + 0.2132P_d \quad \text{Ecuación 2.76}$$

Dónde: P_d = paso diametral

Distancia del cono

$$A_0 = d_p(2 \operatorname{sen} \gamma) \quad \text{Ecuación 2.77}$$

Dónde:

d_p = diámetro de paso

Ancho de cara

$$F = \min(0.3A_0, 10/P_d) \quad \text{Ecuación 2.78}$$

Factor de tamaño por resistencia a picadura

$$C_s = 0.125F + 0.4375 \quad \text{Ecuación 2.79}$$

Factor de distribución de carga

$$K_m = K_{mb} + 0.0036F^2 \quad \text{Ecuación 2.80}$$

Factor dinámico

$$K_v = K_{mb} + \left(\frac{A + \sqrt{v_t}}{A} \right)^B \quad \text{Ecuación 2.81}$$

Dónde:

v_t = velocidad en la línea de paso

Flexión de la corona

$$(S_t)_G = \frac{W^t}{F} P_d K_0 K_v \frac{K_S K_m}{K_x J_G} \quad \text{Ecuación 2.82}$$

Dónde:

W^t = Velocidad tangencial del engrane

K_0 = Factor de sobrecarga

K_v = Factor dinámico

K_S = Factor de tamaño por flexión

K_m = Factor de distribución de carga

K_x = Factor de curvatura en el sentido longitudinal de resistencia a la flexión

J = Factor de geometría de resistencia a la flexión

Resistencia a la flexión

$$(S_{wt}) = \left(\frac{S_{at} + K_L}{S_F K_T K_R} \right)^B \quad \text{Ecuación 2.83}$$

Dónde:

S_{at} = número de esfuerzos por flexión permisible

K_R = Factor de confiabilidad del acero

K_T = Factor de temperatura

Ecuación fundamental del esfuerzos de contacto

$$S_c = \sigma_c = C_p \left(\frac{W^t}{F d_p I} K_0 K_v K_m C_s C_{xc} \right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 2.84}$$

Dónde:

K_0 = factor de sobrecarga

C_{xc} = factor de coronamiento por picadura

Ecuación del número(resistencia)del esfuerzo de contacto permisible

$$(S_{wc})_G = \left(\frac{S_{ac} C_L C_H}{S_H K_T C_R} \right) \quad \text{Ecuación 2.85}$$

Dónde:

S_{ac} = número de esfuerzo por contacto permisible

Selección de la banda

Longitud de paso

$$L_p = 2C + \pi(D + d)/2 + (D - d)^2/(4C) \quad \text{Ecuación 2.86}$$

Dónde:

D = diámetro mayor de la polea

d = diámetro menor de la polea

C = distancia entre centros

Ángulos de contacto

$$\theta_d = \pi - 2 \operatorname{sen}^{-1} \frac{D - d}{2C} \quad \text{Ecuación 2.87}$$

La velocidad tangencial de la correa.

$$V = \frac{\pi * d * n}{12} \quad \text{Ecuación 2.88}$$

Potencia de diseño

$$H_d = H_n * K_s * n_d \quad \text{Ecuación 2.89}$$

Potencia permitida por la banda

H_a = potencia de transmisión y se tiene la siguiente ecuación:

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab} \quad \text{Ecuación 2.90}$$

Dónde:

K_1 = factor de corrección de ángulo de cobertura

K_2 = factor de corrección de longitud de la banda

H_{tab} = valor tabulado

La potencia que se transmite por la banda

$$\Delta F_a = \frac{63025 H_a}{n(d/2)} \quad \text{Ecuación 2.91}$$

El torque

$$T_a = \frac{\Delta * F_a * d}{2} \quad \text{Ecuación 2.92}$$

Dónde:

d : Diámetro menor de la polea.

Tensión centrífuga

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \quad \text{Ecuación 2.93}$$

Relación con el par de torsión con polea

$$F_i = \left(\frac{T}{d} \right) \left[\frac{\exp(f\phi) + 1}{\exp(f\phi) - 1} \right] \quad \text{Ecuación 2.94}$$

Tensión mayor

$$F_1 = F_c + F_i \left[\frac{2\exp(f\phi)}{\exp(f\phi) + 1} \right] \quad \text{Ecuación 2.95}$$

Factor de seguridad

$$n_{fs} = \frac{H_a N_b}{H_d} \quad \text{Ecuación 2.96}$$

La tensión de la banda se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$T_1 = F_1 + (F_b)_1 \quad \text{Ecuación 2.97}$$

Número de pasadas

$$N_P = \left[\left(\frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left(\frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad \text{Ecuación 2.98}$$

La vida en horas

$$t = \frac{N_P L_P}{720V} \quad \text{Ecuación 2.99}$$

Montaje de rodamiento tipo

Montaje en x.

Condiciones de carga axiales

$$F_{ra} < F_{rb} \quad \text{Ecuación 2.100}$$

Carga axial.

$$F_{rB} = F_{ra} - k_a \quad \text{Ecuación 2.101}$$

Cálculo de la chaveta y chavetero

$$P = F_{chaveta} * r_{eje} * w \quad \text{Ecuación 2.102}$$

Dónde:

$F_{chaveta}$: Fuerza tangencial en la superficie del eje

w : Velocidad angular (rad/seg)

Longitud de la chaveta

$$l = \frac{F_{chaveta} * n}{t * S_{sy}} \quad \text{Ecuación 2.103}$$

S_{sy} = Material de la chaveta.

t = espesor de la chaveta.

$$\tau_{\text{diseño}} = \frac{F_{\text{chaveta}}}{A_c} \quad \text{Ecuación 2.104}$$

Cálculo del chavetero a aplastamiento

$$\sigma_{\text{aplas}} = \frac{p}{b \cdot L} \leq [\sigma_{\text{aplas}}] \quad \text{Ecuación 2.105}$$

Dónde:

p = Fuerza de aplastamiento

$b \cdot L$ = Área de la sección

Análisis de esfuerzos en la viga que sostiene el tubo

Cálculo de la deflexión en una viga en voladizo con carga intermedia

$$Y_{\text{max}} = -\frac{F \cdot a^2}{6 \cdot E \cdot I} (a - 3l) \quad \text{Ecuación 2.106}$$

Dónde:

Y_{max} = Deflexión máxima en voladizo con carga intermedia

l = Longitud del eje

Pernos sujetadores del motor

$$M = F \cdot d \quad \text{Ecuación 2.107}$$

Dónde: $F \cdot d$ = Fuerza por distancia

Fuerza cortante en cada perno

$$F' = \frac{V}{N} \quad \text{Ecuación 2.108}$$

Dónde:

V = Fuerza de los pernos (N)

N = Número de pernos.

La fuerza cortante que actúa en cada perno se obtiene así:

$$\tau = \frac{n * F'}{A_c}$$

Ecuación 2.109

Dónde:

n = Factor de seguridad

F' = Fuerza cortante

A_c = Área de la sección

Cálculo de la precarga

$$F_i = 0.8 * S_p * A_t$$

Ecuación 2.110

S_p = Resistencia mínima límite a la tracción

A_t = Área de esfuerzo a tensión

Velocidad de compactación

$$V_r = \frac{e}{t}$$

Ecuación 2.105

Dónde:

e = distancia de recorrido.

t = tiempo en (seg).

El tiempo que transcurre hasta el enganche del pisón

$$t = \frac{W_p}{\alpha_p}$$

Ecuación 2.106

2.4 HIPÓTESIS

2.4.1 HIPÓTESIS A

Se podría utilizar un determinado número de golpes aplicados a la muestra sin que presente variaciones significativas en cuanto a la densidad de compactación.

2.4.2 HIPÓTESIS B

Se podría utilizar un determinado número de golpes aplicados a la muestra que

presente variaciones significativas en cuanto a la densidad de compactación.

Con la ecuación³ 4.1 se calcula las varianzas de las diferencias, probando $H_0 =$ Método A = Método B, con un nivel de α del 5 % se tiene:

$$s^2d = \frac{\sum D^2 - D^2/n}{n(n-1)} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

$$s^2d = \frac{187489 - (-433)^2/4}{4(4-1)} = 15642sd = 125$$

$$t = \frac{d}{Sd} = \frac{-108.25}{125} = -0.86$$

2.5 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES

2.5.1 Variable independiente:

Calidad de los suelos en pruebas de laboratorio

2.5.2 Términos de relación

Permitirá valorar.

2.5.3 Variable dependiente:

Parámetros físicos de compactación mecánica de suelos

³ Documento guía de ensayos y pruebas en laboratorio, Power point, Universidad Técnica de Ambato, pág. 29.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el estudio de parámetros físicos de compactación y su efecto en la valoración de la calidad de los mismos para pruebas de laboratorio, tienen referencia a normas de construcción en vías y edificaciones, que pasa por un proceso de control específico de compactación en suelos como son: Densidad de campo y densidad de Laboratorio mediante el porcentaje de compactación que se maneje en las normas establecidas, predominante en el enfoque cualitativo.

Mientras que con el enfoque cuantitativo, se destacaron los resultados que se obtuvieron de las pruebas en los lugares afines al tema del proyecto a investigado.

3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 MODALIDAD BÁSICA DE INVESTIGACIÓN

Se contaron con los siguientes tipos de investigación:

3.2.1.1 CAMPO

Se elaborará una investigación de campo en diferentes sitios de suelo compactado para obtener datos en donde se analizaron los tipos de suelos y los factores que lo componen.

3.2.1.2 EXPERIMENTAL

En el laboratorio de suelos, de modo experimental se tomaron las muestras obtenidas en campo para realizar algunos ensayos y verificar el proceso de

compactación utilizando equipos que permitieron obtener resultados favorables al estudio.

3.2.1.3 BIBLIOGRÁFICA

La recolección de la información está basada en estudios de suelos, libros de diseño mecánico, folletos, internet.

3.2.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.2.1 EXPLORATORIA O EXPLICATIVO

Se tomaron datos en el lugar a realizar el estudio en base a un sistema mecánico que permita realizar el análisis de densidad en laboratorio mediante el porcentaje de compactación, permitiendo comparar resultados obtenidos en campo y en laboratorio.

3.2.2.2 DESCRIPTIVO

Mediante el tipo de sistema investigado se determinó ventajas que conlleva a mejorar el equipo para ensayo de laboratorio, mediante parámetros de utilización y formas del ensayo.

3.2.2.3 CORRELACIÓN

La relación de variables del proyecto están asociadas ya que el estudio de estudio de parámetros físicos de compactación de suelos y su efecto en valoración de la calidad de los mismos en pruebas de laboratorio, permitirá cumplir con los objetivos planteados.

3.2.2.4 EXPERIMENTAL

Mediante el uso correcto de las normas de compactación se obtuvieron ventajas que permitieron realizar pruebas en forma manual y así realizar el diseño de un sistema que compacte automáticamente obteniendo resultados de densidad de compactación, humedad óptima para ese tipo de suelo, y el porcentaje de densidad máxima seca en el laboratorio.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 POBLACIÓN O UNIVERSO (N)

En esta investigación se ha propuesto una entrevista con el principal beneficiario del proyecto, es decir al propietario del Laboratorio de Suelos Ing. Fernando Valdivieso. Ha considerado que los estudios de suelos en la actualidad es de vital importancia para cumplir con las especificaciones técnicas que se da al constructor, por el que en promedio general, en vías de 100 m de longitud se realizan 4 controles de compactación o puntos de control con equipos de campo para obtener un error mínimo del 1 %, con aproximadamente 4 muestras de suelo compactado.

3.3.2 MUESTRA

Para la investigación se puede aplicar la siguiente formula⁴ con los siguientes datos:

Para determinar el tamaño de la muestra (n)

$$n = \frac{P*Q}{E^2}, \text{ Donde:}$$

n = Probabilidad a favor (0,25)

E = Error de estimación (1%=0.01)

Q = Probabilidad a favor (0,25)

$$n = \frac{P*Q}{E^2}, \text{ Sustituyendo}$$

$$n = \frac{P * Q}{E^2} = \frac{0.9 * 0.9}{0.05^2} = 100 \text{ con un error del 1\%}, \frac{0.25}{0.01} = 25 \text{ mediciones}$$

Se utilizarán 24 mediciones como son: humedades del suelo, para determinar las densidades máximas que se requiere conocer.

⁴ **Fuente:** Santiago Valderrama 1ra edición, Dr.2004.pp 180-185

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Parámetros Físicos

Tabla 3.1 Operacionalización de la variable dependiente.

CONCEPTO	CATEGORÍAS	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Son parámetros físicos de materiales cuyos componentes dinámicos a estudiarse muestran un comportamiento de diferente tipo.	Energía de compactación de la máquina	Superficies Circulares Peso Volumen Densidad	¿Qué tipo de lectura conoce? ¿Cuál es la fuerza de compactación de compactación?	Tabla de toma de datos Observaciones
	Granulometría	Subbrasante	¿Cuál es la calificación del suelo?	Tabla de toma de datos Observaciones

Fuente: Francisco Alcocer

3.4.2 Variable independiente

Calidad de los suelos

Tabla 3.2 Operacionalización de la variable independiente.

56

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Calidad de los suelos. Investigación de los suelos compactados en laboratorio	Ensayos	Proctor Modificado	¿Cuántas capas de suelo se debe compactar? ¿Cuántos golpes se debe aplicar a la muestra?	Entrevista Guía de laboratorio. Entrevista Guía de laboratorio

Fuente: Francisco Alcocer

Continuación

Tabla 3.2 Continuación

<p>Ensayos en laboratorio</p> <p>Se realiza ensayos de determinación del grado de compactación y comparando sus resultados con el porcentaje prescrito en pliegos (90%, 95%, 100%, etc.), lo cual depende del destino y de la importancia de la obra</p>	Suelos Cohesivos	<p>Arena fina</p> <p>Arcilla</p> <p>Arena Limosa</p> <p>Arena Arcillosa</p>	¿Qué densidad de compactación debe tener el suelo?	<p>Ensayo</p> <p>Formulario</p> <p>Observación</p>
	Suelos Granulares	<p>Grava</p> <p>Ripio</p> <p>Sub rasante</p>	¿Qué porcentaje de Humedad debe cumplir?	<p>Encuesta</p> <p>Cuestionario</p> <p>Observación</p>
	Normas	<p>ASHTO-T99</p> <p>Densidad Máxima.</p> <p>Humedad Óptima.</p>	¿Con que energía de compactación se obtendrán resultados?	<p>Encuesta</p> <p>Cuestionario</p> <p>Observación</p>

3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.5.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El desarrollo de la información del proyecto propuesto se obtuvo a través de una observación directa y estructurada en el laboratorio de propiedad del Ing. Fernando Valdivieso, para identificar así los inconvenientes que genera el ensayo manual para ensayo proctor. Los instrumentos utilizados serán cuaderno de notas, fichas nemotécnicas, registros específicos, fichas de campo. Además nos ayudaremos de registros específicos realizados en el laboratorio de ensayo de materiales, en la ciudad de Latacunga.

Se realizó una entrevista al propietario del laboratorio, quien es la persona más interesada en mejorar la calidad del ensayo. La meta es realizar el ensayo de forma automática tal que el ensayo que se realizaba con el equipo proctor ya no sea manualmente, utilizando los mismos parámetros del ensayo manual se consigue hacer mediciones que servirán para el diseño del prototipo. Utilizamos como instrumento de recolección un cronómetro, el equipo de ensayos proctor estándar.

La razón principal para la utilización de estas técnicas e instrumentos es que permitieron la recolección de información que será analizada, tabulada y que permitió la obtención de resultados que se encuentran en función de las variables de la hipótesis con su respectiva comprobación, estableciendo conclusiones y recomendaciones para cumplir con los objetivos planteados.

3.5.2 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En Campo y en Laboratorio se obtuvo un análisis exacto de los resultados que contienen la descripción de lo observado, destacando las características más sobresalientes en los ensayos realizados.

El procesamiento de la información también se basará en la realización de un experimento con el propietario del laboratorio, que ayudará a obtener información de las necesidades que existe en el sistema ; para poder así realizar nuestro

proyecto en base a las principales especificaciones técnicas que se requiere para esta información.

Adicionalmente los datos obtenidos de las guías de observación sirvieron para identificar, determinar y plantear una alternativa de solución.

Por lo cual, los resultados que se consiguieron de los ensayos en el laboratorio de suelos, fueron comparados con la producción antes y después de implementar nuestra alternativa de solución además de comparar con normas de construcción.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA HUMEDAD DEL SUELO EN LABORATORIO

PESO TOTAL DEL SUELO HÚMEDO

Con la ecuación 4.1 determinamos el peso total del suelo húmedo en gramos

$$P_3 = P_1 - P_2 \text{ (gr)}$$

Dónde:

$$P_1 = \text{Peso del suelo húmedo} + \text{recipiente (gr)}$$

$$P_2 = \text{Peso del recipiente (gr)}$$

PESO TOTAL DEL SUELO SECO

Con la ecuación 4.2, determinamos el peso total del suelo seco en gramos

$$P_8 = P_5 - P_7$$

Dónde:

$$P_5 = \text{Peso del suelo seco} + \text{recipiente (gr)}$$

$$P_7 = \text{Peso del recipiente}$$

PESO DEL AGUA

Mediante la ecuación 4.3, determinamos el peso del agua en gramos

$$P_4 = P_1 - P_5 \text{ (gr)}$$

Dónde: $P_1 =$ Peso del suelo húmedo + recipiente (gr)

$P_5 =$ Peso del suelo seco + recipiente (gr)

CONTENIDO DE HUMEDAD

Reemplazamos el peso del agua P_4 y el peso total del suelo seco P_8 , y así obtenemos la ecuación 4.4, para la obtención del contenido de humedad.

$$W_m = \frac{P_4}{P_8} \times 100 (\%)$$

Para la obtención de las humedades en el suelo se utilizaron recipientes numerados

4.1.2 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL SUELO EN LABORATORIO

Para el suelo compactado en un molde de 945.01 cm^3 (Manual) y 1466.13 cm^3 (Automática), con tres capas, se procede experimentalmente a calcular la densidad de compactación con las siguientes ecuaciones.

PESO DEL SUELO COMPACTADO EN EL MOLDE

Mediante la ecuación 4.5 se determina el contenido de suelo compactado

$$P_9 = P_6 - P_0 (\text{gr})$$

Dónde:

$P_6 =$ Peso del suelo + molde(gr)

$P_0 =$ Peso del molde(gr)

DENSIDAD HÚMEDA

De la ecuación 4.5 reemplazamos el contenido de suelo compactado P_9 , y obtenemos la ecuación 4.6

$$D' = \frac{P_9}{V} (\text{gr}/\text{cm}^3)$$

Dónde:

P_9 = Contenido del suelo compactado (gr)

V = Volumen del molde (cm^3)

DENSIDAD SECA

De la ecuación 4.4 reemplazamos el contenido de humedad W_m y la densidad húmeda D' , así obtenemos la ecuación 4.7

$$D = \frac{D'}{100 + W_m} \times 100 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

4.1.3 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

- **OBTENCIÓN DE LA MUESTRA**



FIGURA 4.1 Homogenizando de la muestra
Fuente: Francisco Alcocer

La muestra obtenida se mezcla en un recipiente grande para romper algunos brumos que se secan y otros que están húmedos, obteniendo una muestra homogénea.

- **AÑADIR AGUA A LA MUESTRA**



FIGURA 4.2 Añadir agua a la muestra
Fuente: Francisco Alcocer

Se añade agua a la muestra, verificando de manera visual y táctil, ajustando con el puño el suelo hasta que se pueda ver una masa de suelo rígido o fácil de apuñar.

- **OBTENCIÓN DE LA HUMEDAD**



FIGURA 4.3 Peso del recipiente con muestra húmeda

Fuente: Francisco Alcocer

El recipiente sin suelo debe pesarse en una balanza digital. Una vez que se añade agua a la muestra total de suelo se extrae en este recipiente numerado un poco de suelo húmedo para luego obtener el peso con muestra mediante una balanza digital. El peso con la muestra se dirigen al horno a 120 °C por 24 horas, para luego obtener el peso del suelo seco, así mismo se debe pesar la muestra obtenida al salir del horno.

COMPACTACIÓN DEL SUELO

La figura 4.4 muestra cómo se compacta manualmente el suelo en el molde proctor, para esto se coloca tres capas de compactación de 25 golpes cada capa.



FIGURA 4.4 Compactación ensayo manual

Fuente: Francisco Alcocer

Una vez compactada la muestra se saca la primera parte del molde para luego pesar la muestra compactada junto con el molde del ensayo como muestra la figura 4.5.



FIGURA 4.5 Peso del suelo compactado

Fuente: Francisco Alcocer

- **COMPACTACIÓN DEL SUELO EN FORMA AUTOMÁTICA**

Para este proceso de compactación se sigue el mismo proceso en la toma de datos de humedades del suelo , sólo que ahora la compactación se realizó en la máquina de ensayos proctor modificado como muestra la figura 4.6.



FIGURA 4.6 Compactación Automática

Fuente: Francisco Alcocer

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1 RESULTADOS DE COMPACTACIÓN

Utilizando las ecuaciones indicadas en los items 4.1.1 y 4.1.2, se calculó experimentalmente una muestra de suelo compactado en forma manual y automática en el cual se determinó de densidad máxima del suelo y la humedad óptima . El objetivo del ensayo manual es determinar la curva de relación humedad – densidad máxima en función de un determinado número de golpes. Estos resultados permiten elaborar un informe de especificaciones técnicas de compactación dado a la persona que está a cargo de la obra civil. En este caso estos resultados de densidad máxima y humedad óptima nos sirvieron para

comparar densidades y humedades obtenidas en forma manual con el equipo de ensayos proctor modificado. El suelo es de tipo sub rasante tomado de una pista atlética mostrada en la tabla 4.3.

Tabla 4.1 Ensayo de compactación manual

ENSAYO DE COMPACTACION (PROCTOR)									
PROYECTO.- PISTA ATLETICA ESTADIO LA COCHA.									
UBICACIÓN.- Latacunga					SITIO.- Pista atlética				
PERFORACIÓN N°. 1		MUESTRA N°. - 4		ABSCISA.-		PROFUNDIDAD.- 0.00 - 0.30 m.			
N° DE CAPAS.- 3		N° DE GOLPES/CAPA.- 25				PESO DE MARTILLO.- 5,5 lb			
DIMENSIONES DEL MOLDE.-		DIAMETRO.- 10,128		ALTURA.- 11,73		VOLUMEN.- 945,01 cm ³			
REALIZADO POR.- Francisco Alcocer					REVISADO POR.-			APROBADO POR.-	
DESCRIPCIÓN DEL SUELO.- Arena poco limosa, café grisáceo.									
CAPA.- SUB RASANTE									
CONTENIDO DE HUMEDAD									
MUESTRA N° (gr)	1		2		3		4		5
LATA HUMEDAD N°	19				24		42		
PESO LATA + SUELO HUMEDO (P1)gr	177,64				167,95		183,50		
PESO LATA + SUELO SECO (P5)gr	167,93				150,03		157,24		
PESO AGUA (P4)gr	9,71				17,92		26,26		
PESO LATA (P2) = (P7)gr	42,95				43,53		43,52		
PESO TOTAL DEL SUELO SECO (P8)gr	158,22				132,11		130,98		
CONTENIDO DE HUMEDAD W (%)	6,14				13,56		20,05		
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD									
CONTENIDO DE HUMEDAD DESEADA W (%)	10				20		25		
CONTENIDO DE HUMEDAD W(m) (%)	6,14				13,56		20,05		
PESO SUELO + MOLDE (P6) gr	5871,00				6030,00		6095,00		
PESO MOLDE (P0)gr	4239,00				4239,00		4239,00		
PESO SUELO COMPACTADO EN EL MOLDE (P9)gr	1632,00				1791,00		1856,00		
DENSIDAD HUMEDA (D) (gr/cm ³)	1,727				1,895		1,964		
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)	1,627				1,669		1,636		

Fuente : Laboratorio de suelos .Ing Fernando Valdivieso

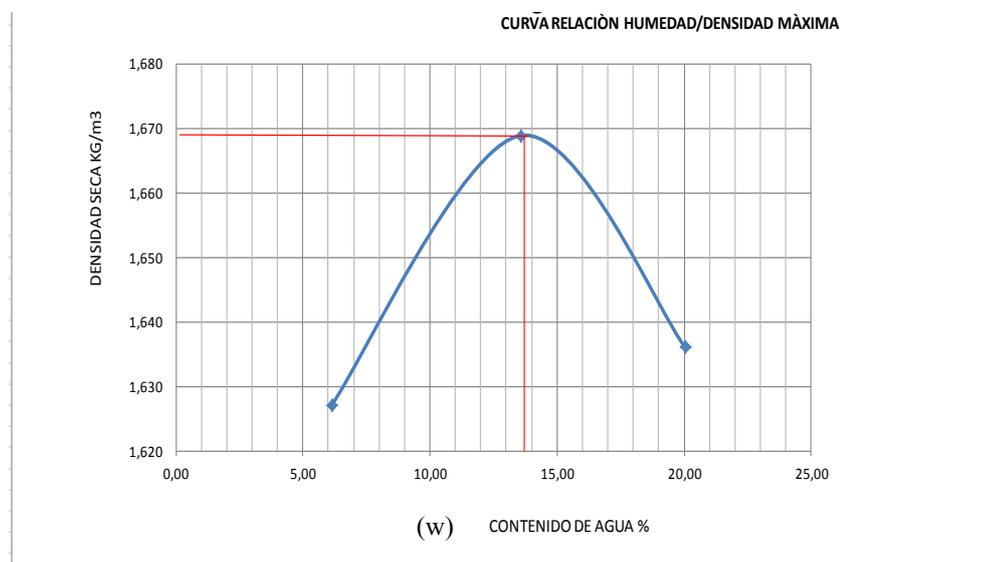


Figura 4.7 Curva relación humedad/densidad máxima(manual)

Fuente : Laboratorio de suelos .Ing Fernando Valdivieso

La obtención de la densidad máxima es de 1669 kg/cm^3 con una humedad del 11% dando el resultado requerido que es de 1500 hasta 1900 kg/cm^3 , dato obtenido por ensayos de pistas en campo.

Tabla 4.2 Ensayos con la máquina compactadora de suelos para ensayos proctor.

ENSAYO DE COMPACTACION (PROCTOR) Máquina						
PROYECTO.- PISTA ATLETICA ESTADIO LA COCHA.						
UBICACIÓN.- Latacunga			SITIO.- Pista atlética			
PERFORACIÓN N°.- 1	MUESTRA N°.- 1		ABSCISA.-		PROFUNDIDAD.- 0.00 - 0.30 m.	
N° DE CAPAS.- 3			N° DE GOLPES/CAPA.- 25		PESO DE MARTILLO.- 5.5 lb	
DIMENSIONES DEL MOLDE.-	DIAMETRO.- 10,128	ALTURA.- 11,73	VOLUMEN.-		1466,13	
REALIZADO POR.- Francisco Alcocer			REVISADO POR.-		APROBADO POR.-	
DESCRIPCIÓN DEL SUELO.- Arena poco limosa, café grisáceo, con grava diámetro máximo 2"						
CAPA.- SUB RASANTE						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
MUESTRA N° (gr)	1		2		3	
LATA HUMEDAD N°	3		34		35	
PESO LATA + SUELO HUMEDO (P1)gr	180,90		161,13		175,02	
PESO LATA + SUELO SECO (P5)gr	170,73		149,98		160,42	
PESO AGUA (P4)gr	10,17		11,15		14,60	
PESO LATA (P2) = (P7)gr	45,46		39,94		45,11	
PESO TOTAL DEL SUELO SECO (P8)gr	125,27		110,04		115,31	
CONTENIDO DE HUMEDAD W (%)	8,12		10,13		12,66	
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD						
CONTENIDO DE HUMEDAD DESEADA W (%)	10		20		25	
CONTENIDO DE HUMEDAD W(m) (%)	8,12		10,13		12,66	
PESO SUELO + MOLDE (P6) gr	5947,00		7010,00		6218,00	
PESO MOLDE (P0)gr	4156,00		4156,00		4156,00	
PESO SUELO COMPACTADO EN EL MOLDE (P9)	1791,00		2854,00		2062,00	
DENSIDAD HUMEDA (D) (gr/cm3)	1,222		1,947		1,406	
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	1,130		1,768		1,248	

Fuente : Laboratorio de suelos . Francisco Alcocer

CURVA RELACION HUMEDAD/DENSIDAD MAXIMA

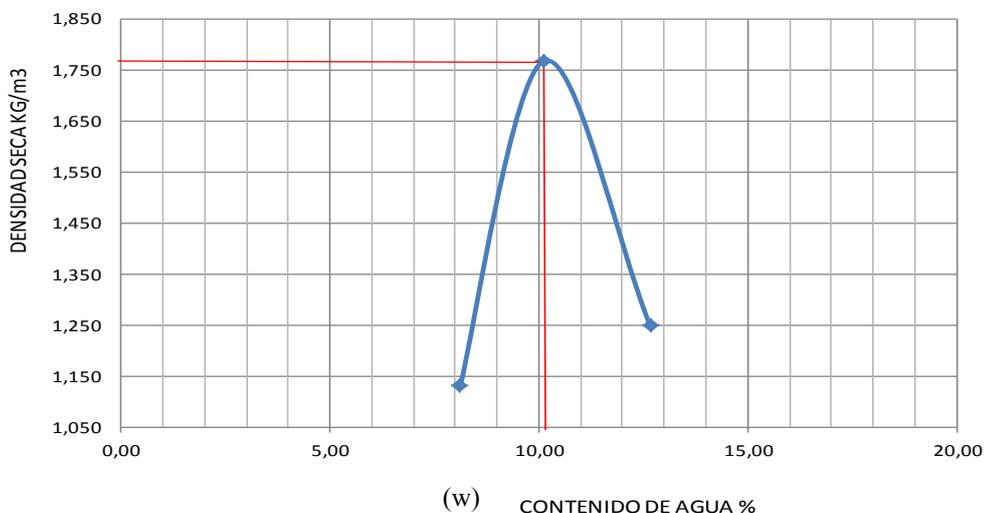


Figura 4.8 Curva relación humedad/densidad máxima(máquina).

Fuente : Laboratorio de suelos. Francisco Alcocer

La obtención de la densidad máxima es de 1768 kg/cm³ con una humedad del 11% dando el resultado requerido que es de 1500 hasta 1900kg/cm³, dato obtenido por ensayos de pistas en campo para material subrasante. A continuación presentamos un resumen de ensayos de compactación realizados en el laboratorio de suelos en la ciudad de Latacunga.

Tabla 4.3 Resumen de ensayos proctor.

RESUMEN DE ENSAYOS PROCTOR					
(20 golpes)		(22 golpes)		(25 golpes)	(28-30 golpes)
Tipo de suelo: SUBASE		Tipo de suelo: SUBASE		Tipo de suelo: SUBASE	
	Densidad (kg/cm3)	Densidad (kg/cm3)	Densidad (kg/cm3)	Tipo de suelo: SUBASE	
Muestra	1	2	3	Densidad (kg/cm3)	
Manual	1360	1360	1759	1759	
Máquina	1231	1291	1501	1768	
	Humedad%	Humedad%	Humedad%	Humedad	
Muestra	1	2	3	4	
Manual	29	11	11	11	
Máquina	16,20	15,1	15.1	10.1	

Fuente : Laboratorio de suelos. Francisco Alcocer

A continuación se presenta un gráfico de las densidades obtenidas en laboratorio en base a 20, 22, 25, golpes con la máquina de compactación.

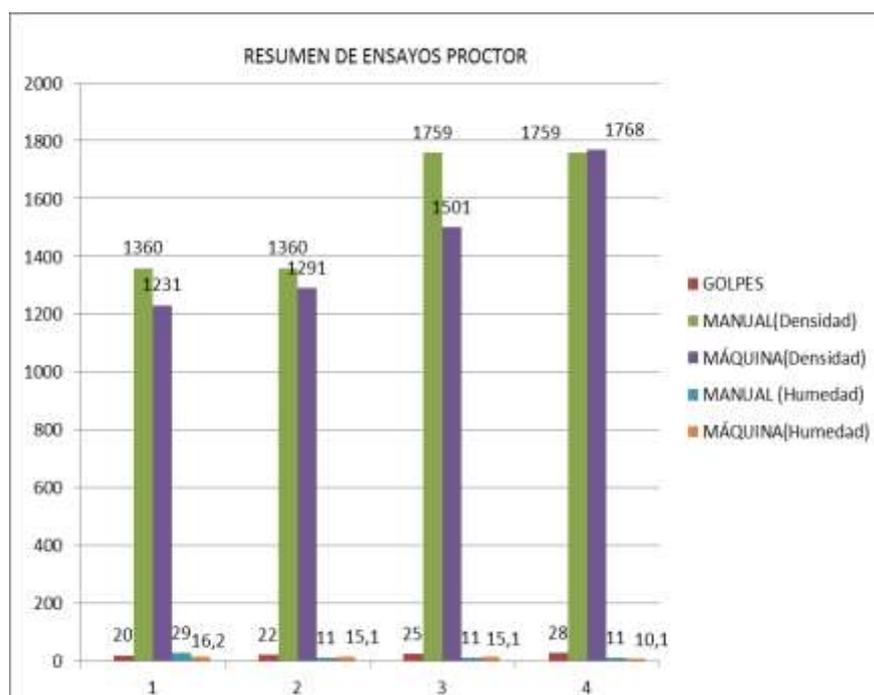


Figura 4.9 Resumen de ensayos proctor.

Fuente : Laboratorio de suelos. Francisco Alcocer

4.2.2 Resultados de la máquina con 25 golpes

Tabla 4.4 Proctor con máquina para 25 golpes

GOLPES	MANUAL (Densidad) kg/m ³	MÁQUINA (Densidad) Kg/m ³	MANUAL (Humedad) %	MÁQUINA (Humedad) %
25	1430	1768	22	10,1
25	1759	1750	11	11,1
25	1697	1740	11,5	11,8
25	1669	1730	13,8	12,1

Fuente : Laboratorio de suelos. Francisco Alcocer

Resultados obtenidos por la máquina

Para la compactación de muestras en la máquina compactadora se tiene que conocer parámetros de suelo, en este caso se toma 4 ensayos para una muestra de subrazante aplicando un número de golpes determinado por el laboratorista y en este caso el investigador logró ajustar el número de golpes dependiendo del tipo de suelo que se encuentre en campo, así se obtiene una densidad máxima de 1768 kg/cm³ compactado en un molde estándar de 1466.13 cm³, considerando una humedad óptima para este suelo del 10.1% en ambos ensayos, resultados que en comparación con otros ensayos realizados la meta es llegar a obtener una densidad máximas > 1500 kg/cm³, margen requerido por la dirección nacional de vialidad. Con estos resultados tanto en calidad de compactación como en ahorro en tiempo del ensayo se realizan estudios completos de suelos utilizando la máquina compactadora de ensayos Proctor.

La revisión de toda esta información es con la finalidad de depurar inconsistencias, pues en caso de haberlas se procederá con una nueva toma de datos.

En el análisis de resultados se hace una comparación del tiempo al realizar el ensayo manual y el tiempo que dura hacer el ensayo con la máquina compactadora, en la tabla 2.3 se obtienen datos referenciales.

Se usaran los siguientes términos en las tablas:

T.P. (Tiempo de proceso), en las tablas este representará valores de tiempo en la toma de datos durante el ensayo. A medida como se vaya colocando la muestra en el molde hasta la compactación.

En cada proceso se deberá sacar las humedades secas, estas serán llevadas al horno durante 24 horas. T.I (Tiempo improductivo del actual), Se hace un análisis del tiempo que tarda en acomodar el molde en el suelo y en poner el pisón en la muestra y realizar el ensayo. T.T (Tiempo total), se sumaron los tiempos de proceso del ensayo manual y con la máquina. Para el proceso de densidades secas y se utilizó el horno del laboratorio de suelos en la ciudad de Latacunga. En la siguiente figura se representa un flujo del proceso del ensayo.

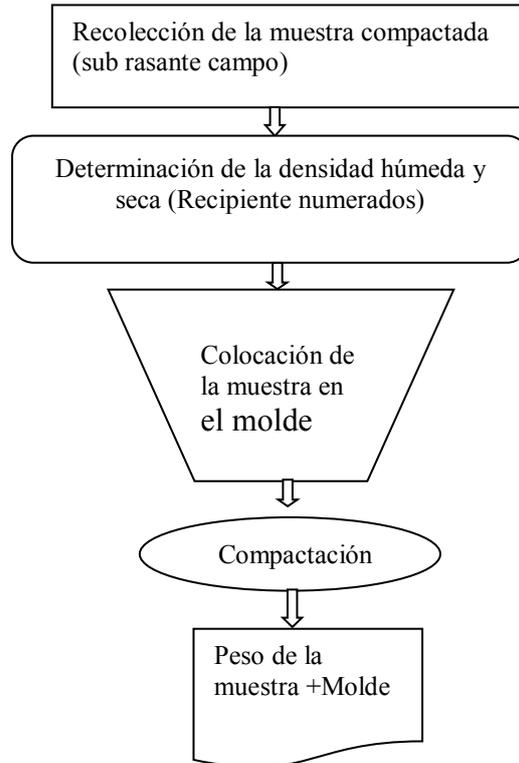


Figura 4.10 Flujo del proceso del ensayo proctor modificado
Fuente: Laboratorio de Suelos y Materiales Ing.Fernando Valdivieso

En la siguiente tabla se analizó el tiempo del proceso del ensayo tomando en cuenta el tiempo del proceso manual y el tiempo de proceso automático; la importancia de realizar esta toma de datos determinará el beneficio productivo y la calidad de realizar el ensayo con la máquina con las condiciones que requiere el laboratorio, cabe destacar que la característica más importante es la forma como se realice el ensayo y el uso de la máquina para un cierto número de golpes dependerá del tipo de muestra, o de suelo compactado.

El ahorro del tiempo es muy importante en procesos de ensayos de laboratorio, para determinar estos tiempos se utiliza un cronómetro que sirvió de gran uso.

Tabla 4.5 Resultados de tiempo de proceso de los ensayos proctor modificado

Tiempo estimado del ensayo Proctor Estándar	TP estimado (min)	TP Manual(h)	TP Máquina(h)	TP Manual(seg)	TP Máquina(seg)
Recolección de la muestra compactada	30 min				
Determinación de la densidad seca		24	24	0	0
Determinación de la densidad húmeda				60	60
Colocación de la muestra en el molde				15	12
Compactación capa1				75	45
Compactación capa2				75	45
Compactación capa3				75	45
Tiempo total de compactación				240	147
Tiempo total del ensayo	30	24	24	540	354
Tiempo total de compactación (min)		TP Manual(min)	TP Máquin(min)		
		4	2,45		
Tiempo total del ensayo (horas)		24h,39 min	24h,5min		

Fuente: Francisco Alcocer

Como indica la tabla 4.1 el tiempo del proceso del ensayo en una muestra de suelo es de 24 horas y 5 min, mientras que el ensayo manual se usa un tiempo de 24 horas con 39 minutos. A continuación se presenta en la figura el proceso de compactación, con el ahorro de tiempo para cada ensayo.

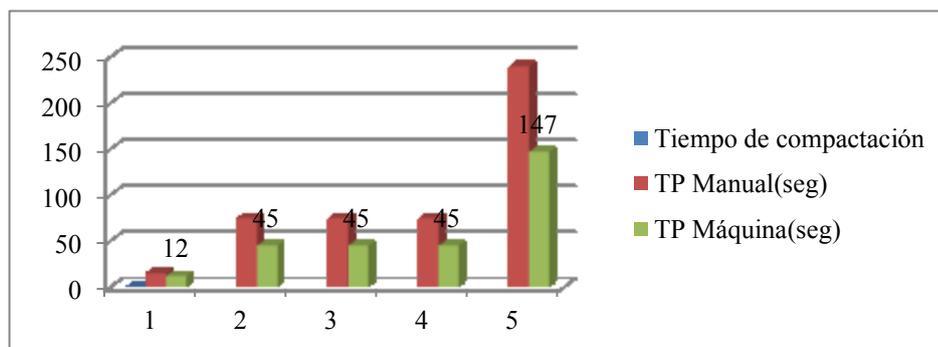


Figura 4.11 Tiempo del proceso de compactación

Fuente: Francisco Alcocer

El tiempo de proceso de compactación para el ensayo proctor manual es de 240 segundos y 147 segundos para el proceso automático.

Mediante un análisis de tiempo de producción manual y automática se tiene el ahorro en la siguiente tabla.

Tabla 4.6 Ahorro en tiempo del proceso de compactación

Proceso	TP Manual(seg)	TP Máquina(seg)	TP% Manual	TP% Máquina
Determinación de la densidad húmeda	60	60	11,11	16,95
Colocación de la muestra en el molde	15	12	2,78	3,39
Compactación capa1	75	45	13,89	12,71
Compactación capa2	75	45	13,89	12,71
Compactación capa3	75	45	13,89	12,71
Tiempo total de compactación	240	147	44,44	41,53
Tiempo total del ensayo	540	354	100,00	100,00

Fuente: Francisco Alcocer

El ahorro en tiempo del proceso automático frente al proceso manual se tiene en la siguiente figura; obteniendo así un resultado mínimo favorable en el proceso de compactación.

El tiempo productivo frente al tiempo inproductivo ensayo automático y manual respectivamente; brinda un 12.90 % de ahorro durante todo el ensayo, obteniendo la figura 4.3.

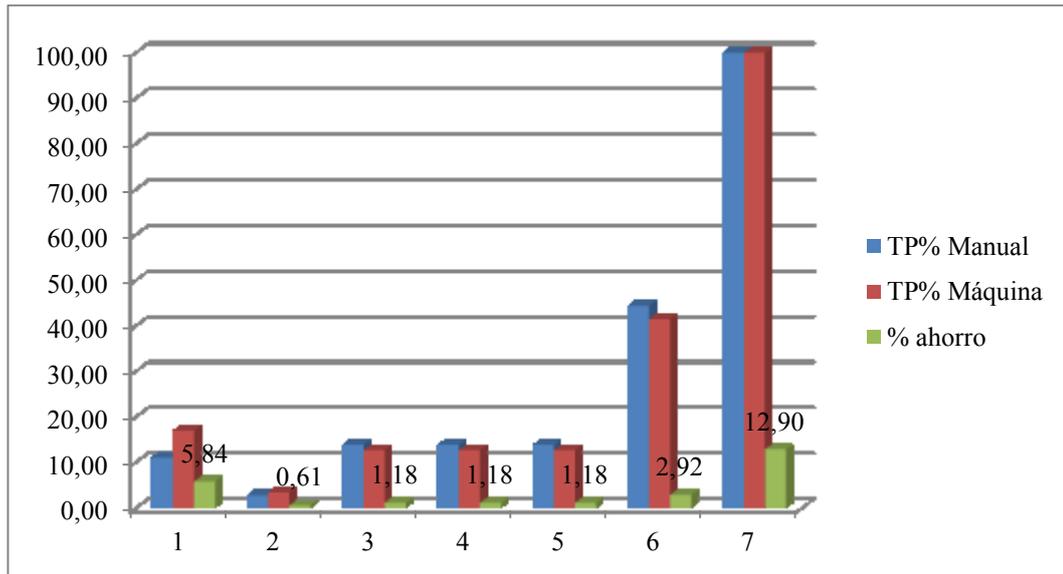


Figura 4.12 Ahorro en tiempo del proceso de compactación.

Fuente : Francisco Alcocer

4.3 Verificación de la hipótesis

La verificación de la hipótesis se da de acuerdo a los resultados obtenidos en la compactación , realizando ensayos manuales y verificando tiempos del proceso productivo logrando como beneficio un 12,20 % en ahorro de tiempo durante todo el proceso del ensayo, asimismo se logra que se pueda compactar cualquier tipo de suelo de subbase o subrazante aplicando la norma Ashhto T-99 para ensayos en suelos de subbase, logrando una calidad en la compactación de 1768 kg/cm³de densidad máxima.

4.3.1 Prueba t para la densidad de compactación

- Calculamos la diferencia entre las medias de los dos grupos.
- Cálculo de las diferencias (D) entre parejas de observaciones.
- Cálculo del cuadrado de las diferencias (D²).
- Cálculo de la varianza de las diferencias (Sd).
- Cálculo del valor de $t = \frac{\vec{d}}{sa}$.

TABLA 4.7 PRUEBA t PAREADA

MUESTRA	Método A (kg/cm3)	Método B (kg/cm3)	D (kg/cm3)	D ² (kg/cm3)
1	1430	1768	-338	114244
2	1759	1750	9	81
2	1697	1740	-43	1849
4	1669	1730	-61	3721
SUMA	6555	6988	-433	187489
PROMEDIO	1638,75	1747		

Fuente : Laboratorio de suelos. Francisco Alcocer

El planteamiento de la hipótesis A y B, vista en el capítulo 2 en la página 48 se calcula con la ecuación 4.1 se calcula las varianzas de las diferencias, probando $H_0 = \text{Método A} = \text{Método B}$, con un nivel de α del 5 % se tiene :

$$s^2d = \frac{\sum D^2 - D^2/n}{n(n-1)}$$

$$S^2d = \frac{187489 - (-433)^2/4}{4(4-1)} = 15642$$

$$sd = 125$$

$$t = \frac{d}{Sd} = \frac{-108.25}{125} = -0.86$$

La prueba de la hipótesis $H_0 : A = B$, en la “t” tabulada para 0.05 % de nivel de confianza se tiene en la siguiente tabla.

TABLA 4.8 PRUEBA “t” Tabulada.

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	Variable 1	Variable 2
Media	1638,75	1747
Varianza	20781,58333	262,666667
Observaciones	4	4

Fuente : Laboratorio de suelos .Francisco Alcocer

Continuación TABLA 4.8

Coeficiente de correlación de Pearson	-0,705510113	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-1,387680342	
P(T<=t) una cola	0,129671754	
Valor crítico de t (una cola)	2,353363435	
P(T<=t) dos colas	0,259343507	
Valor crítico de t (dos colas)	3,182446305	

Fuente : Laboratorio de suelos .Francisco Alcocer

Dado que la “t” calculada es menor que “t” tabular, se acepta H_0 . Es decir los dos métodos dan resultados similares.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se logra mejorar el tiempo del ensayo en un 12.90 %, ver figura 4.3.
- Mediante la utilización de un determinado número de golpes dispuesto por la norma ASSHTO T-99 se logra una densidad de compactación mayor al 100%.
- El uso del diseño mecánico ha permitido diseñar un sistema que cumpla con las especificaciones técnicas en el control de la compactación con humedades de entre 10, 15, y 20 % requeridas por el laboratorio.
- Se han comparado procesos manuales y automáticos para la obtención de un ensayo proctor modificado en un molde de 1466.13 cm³ de volumen.
- Se logra optimizar la humedad para cierto tipo de suelo manteniendo la forma de la curva específica para lograr la densidad máxima y la humedad óptima mayor a los 1500 kg/cm³ de energía de compactación.
- La energía de compactación aplicada a la muestra depende del tipo de suelo ensayado y del volumen de la muestra, por lo que no se requiere calificación del suelo.
- Se logra diseñar y seleccionar elementos mecánicos que reemplacen al ensayo tradicional , como es la utilización de cadenas y piñones que cumplen con la motricidad del mecanismo.
- En comparación con los resultados obtenidos entre el ensayo manual y el automático encontramos las humedades óptimas requeridas de 13.8% y 12.1 respectivamente, humedades obtenidas para este tipo de suelo, ver tabla 4.6

- Se concluye que los métodos tradicionales de ensayo son útiles para mejorar la investigación y optar por nuevos métodos que no alteren los principios básicos de ensayo en suelos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la ayuda de un operario que conozca el proceso de ensayos en campo y en laboratorio.
- Se recomienda utilizar el molde de un material anticorrosivo por el contacto que existe con la humedad del suelo.
- Es recomendable que el número de capas en el molde sean de 3 para una buena interpretación de resultados.
- Es importante lograr una muestra homogénea para la obtención de resultados favorables en cuanto a densidad y a humedad.
- Se recomienda aplicar el número de golpes determinado por el diseño para una buena obtención de la densidad máxima
- Se recomienda utilizar guantes especiales para manipular las muestras.
- Utilizar el seguro cada vez que se acaba el ensayo para evitar que caiga el pisón en la base.

CAPITULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECÁNICO DE ENSAYOS PROCTOR MODIFICADO Y SU EFECTO EN LA VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS MISMOS .

TABLA 6.1 DATOS GENERALES DE LA PROPUESTA

PERSONAL EJECUTORIO:	
Ejecutor:	Francisco S. Alcocer S.
UBICACIÓN:	
Institución:	Laboratorio de suelos “Agua y Geotecnia”
Ciudad	Latacunga
Carrera:	Ingeniería Mecánica
Área	Diseño Mecánico
BENEFICIARIO:	
Laboratorio de suelos “Agua y Geotecnia”	Ing. Fernando Valdivieso
Carrera:	Ingeniería Mecánica

FUENTE: Francisco Alcocer

Elementos mecánicos que conforman la máquina:

- a) Base del molde (Acero ASTM A36).
- b) Base del motor (Acero ASTM A36).
- c) Eje de piñón y chumaceras (SAE 1018).
- d) Base de rodamiento (Acero ASTM A36).
- e) Eje de transmisión de cadenas (SAE 1018).
- f) Piñones de cadena (C43).
- g) Engrane cónico (UNS43100) Chumacera.

6.3 JUSTIFICACIÓN

En el proceso de compactación manual se verificó algunas necesidades básicas en el ensayo tales como: formas de compactación manual, tiempo de ejecución manual, toma de datos en cada uno de los experimentos realizados en el laboratorio de suelos, permitiendo realizar comparaciones entre el equipo de ensayos manual y automático planteando el diseño y construcción de la máquina para complementar las necesidades que tiene la compactación manual con un sistema que compacte en forma automática.

6.4 OBJETIVOS

- Realizar un ensayo proctor manual y automático con un determinado número de golpes aplicados a la muestra.
- Determinar la densidad máxima y humedad óptima de la muestra aplicable al sistema.
- Seleccionar el material de construcción adecuado para el sistema compactador.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

6.5.1 Análisis técnico

El diseño del sistema mecánico para ensayos de compactación de suelos en laboratorio de “agua y geotecnia”, se propone de un apisonador de 5 lb con caída libre y un sistema de engranes y piñones que permiten mover el sistema, cuyas medidas de todo el sistema son de 50 cm de longitud y 20 cm de ancho por 90 cm de altura, utilizando una área en el laboratorio de 10 m², no se considera la mesa en la que va apoyada la máquina por cuanto cuenta con una.

6.5.2 Análisis económico

En el país se encuentran materiales para la industria metalmecánica en gran cantidad, ayudando al mercado de la innovación y proyectos de ingeniería que

permiten su efecto en el crecimiento tecnológico de maquinarias, equipos para laboratorios, siendo este el pilar importante para el desarrollo del sector empresarial.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 Diagrama de ejecución de diseño

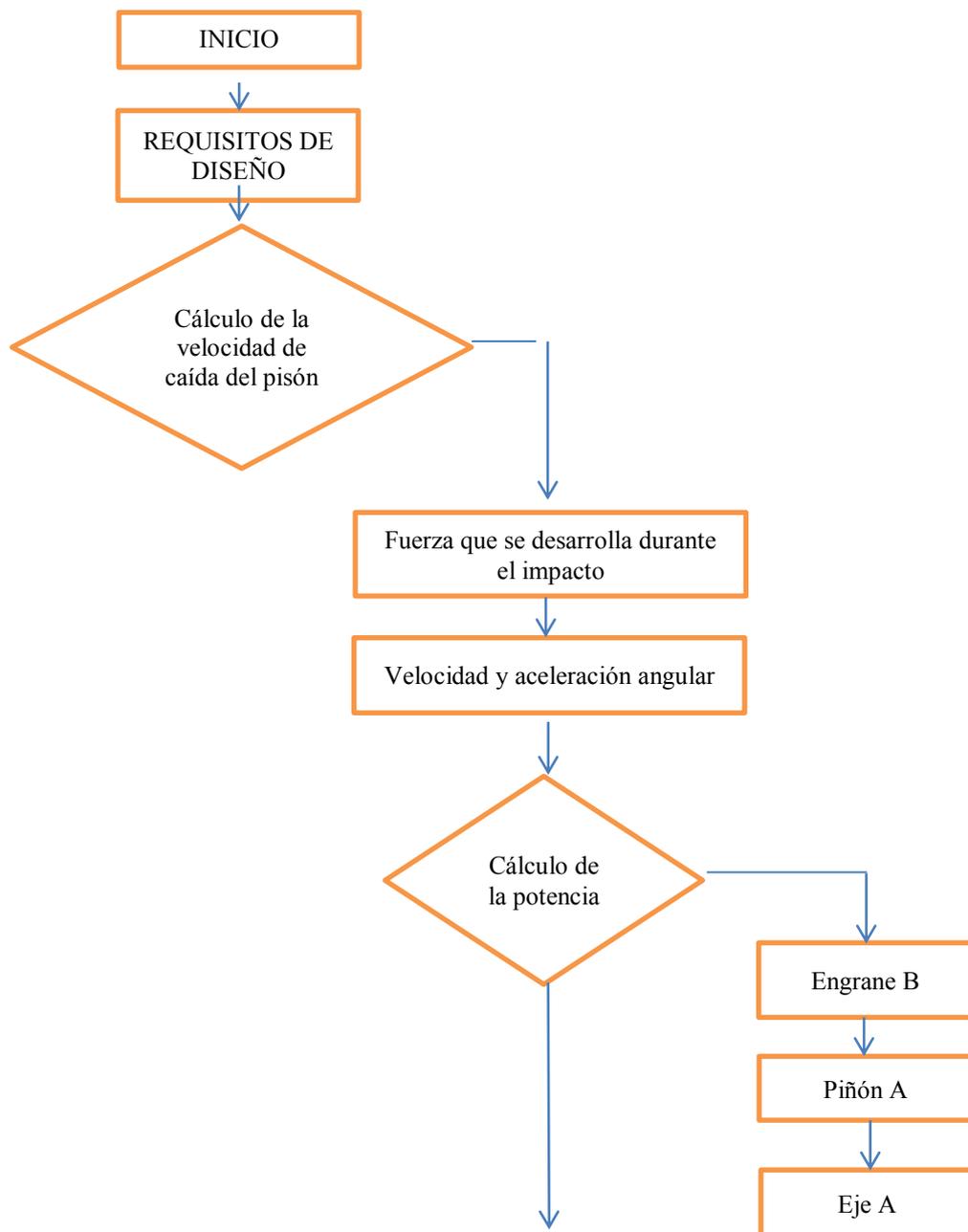


Figura. 6.2 Diagrama de ejecución del diseño
Fuente: Francisco Alcocer.

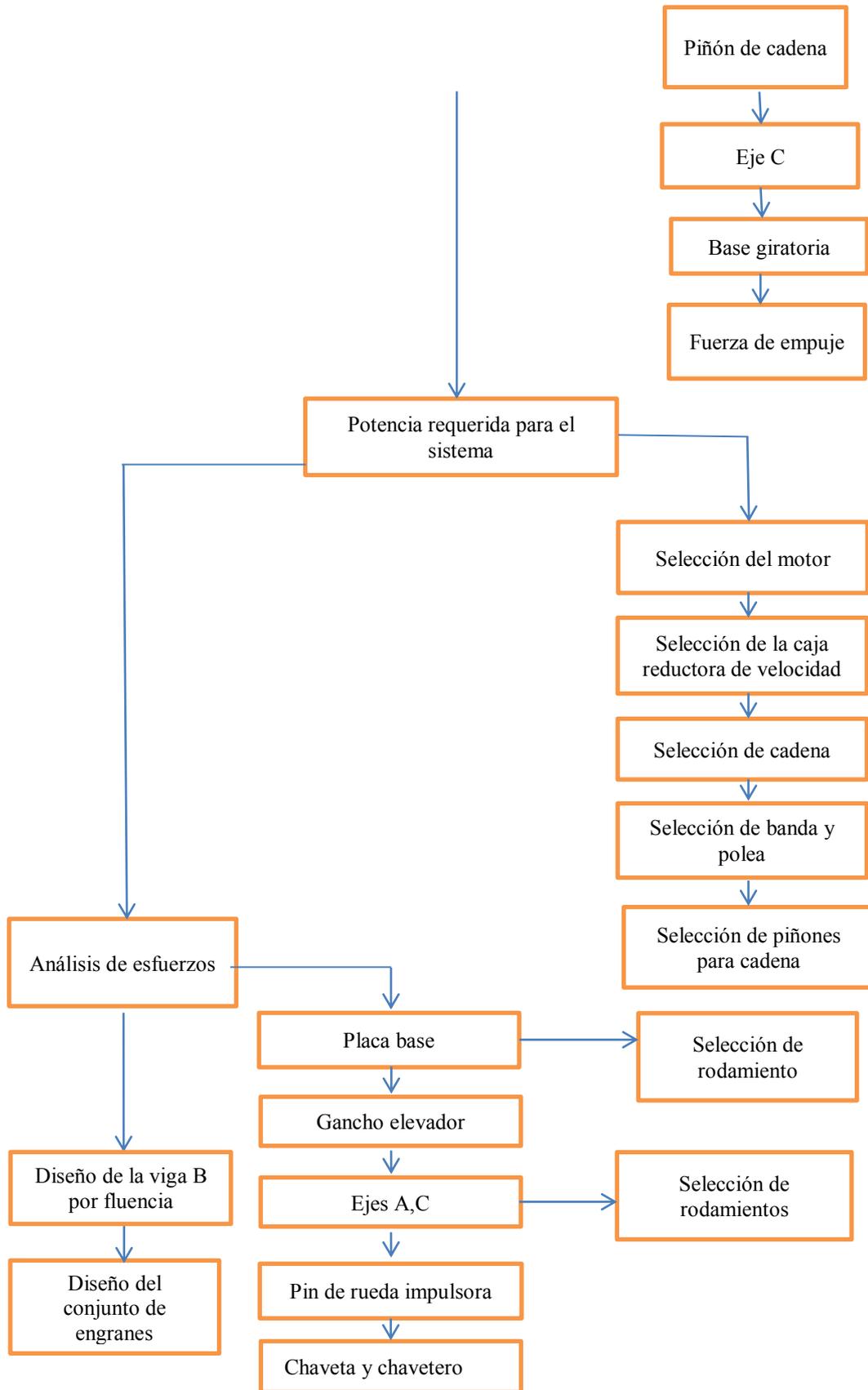


Figura 6.2 Continuación
Fuente: Francisco Alcocer

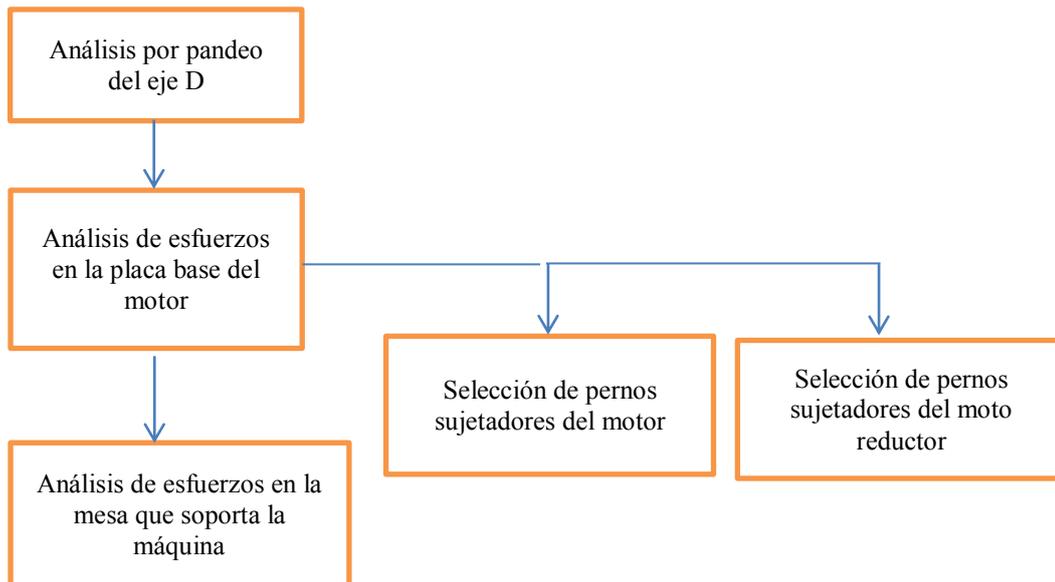


Figura 6.2 Continuación
Fuente: Franciso Alcocer

6.6.2 Requisitos básicos de diseño

Para el diseño de una máquina compactadora de suelos para ensayos en laboratorio, se requiere conocer ciertas características como velocidad de caída del pisón, altura de caída, diámetro de la base giratoria en la que va acoplado el molde con la muestra, altura de ubicación del molde, espacio de trabajo, y el área del material que se va a compactar. Para el diseño fue necesario obtener datos experimentales del tiempo de caída del pisón, en forma manual se hizo caer el pisón donde se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 6.2 Cálculo experimental del tiempo para el diseño con 25 golpes

SÍMBOLO	TIEMPO DE CAÍDA
t_t	34.45 seg tiempo total
t_p	1.378 seg por cada golpe
t_s	0.95 seg de subida del pisón
t_c	0.47 seg de caída del pisón

Fuente: Francisco Alcocer

Con el equipo mostrado en la figura 6.3, se realizó el experimento en forma manual, mediante la utilización de un cronómetro, dónde se hace referencia a la tabla 6.2.



Figura. 6.3 Experimento de prueba manual proctor modificado
Fuente: Francisco Alcocer.

6.6.3 Cálculo de la velocidad de caída del pisón

Con la ecuación 2.7 calculamos la velocidad de caída del pisón donde, se tiene un peso de 2.50 kg a una altura h , al tocar el suelo tendrá una velocidad:

$$v_f^2 = v_0^2 - 2gh$$

Aceleración gravitacional es negativa.

$$v_f^2 = v_0^2 + 2gh$$

Si este objeto cae la altura recorrida es negativa, como indica a continuación la ecuación 2.8.

$$v_f = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$$

Esta va a ser la velocidad con la que el pisón tocará el suelo.

Aplicando la ley de conservación del momento tenemos la ecuación 2.9.

$$mv = mv' + F * t$$

Como sabemos v_f y v' se relacionan en un coeficiente llamado “Coeficiente de restitución” el cual relaciona la energía perdida por deformación de los cuerpos que chocan durante el impacto, este coeficiente se calcula con la ecuación 2.10.

$$e = -\frac{(v_1' - v_2')}{(v_1 - v_2)}$$

Este es el valor de e para el caso de que los dos cuerpos chocan, en este caso: $v_1' = v_1 = 0$ (suelo estático), entonces con la ecuación 2.11 se tiene:

$$e = \frac{(-v_2')}{(v_2)} = -\frac{(-v')}{(v_f)}$$

Modificando la ecuación 2.9 se obtiene:

$$m = m * \frac{v'}{v_f} + F * \frac{t}{v_f}$$

$$m = -m * e + F * \frac{t}{v_f}$$

$$m(1 + e) = F * \frac{t}{v_f}$$

Fuerza de caída del pisón, ecuación 2.12.

$$F = m * v_f * \frac{(1 + e)}{t}$$

Así también la fuerza que se desarrolla durante el impacto mediante la ecuación 2.13.

$$F = m * (1 + e) * \frac{\sqrt{v_0^2 - 2gh}}{t}$$

6.6.4 Fuerza que se desarrolla durante el impacto

La altura de caída del pisón es $h = 0.305$ m, reemplazando en la ecuación 2.8 tenemos:

$$v_f = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$$

$$vf = \sqrt{0 + 2 \left(\frac{9.81 \text{m}}{\text{s}^2} \right) * 0.305 \text{m}}$$

$$vf = 2.44 \text{ m/s}$$

Tenemos el peso estándar⁵ del pisón de, $m = 2.50 \text{ Kg}$

Reemplazando la masa del pisón en la ecuación 2.13 tenemos:

$$F = m * (1 + e) * \frac{\sqrt{v_0^2 + 2gh}}{t}$$

$e = 0$ para suelo estático.

$$F = 2.50 \text{ Kg} * (1) * \frac{\sqrt{2 * (9.81 \text{m/s}^2) * 0.305 \text{m}}}{0.47 \text{ seg}}$$

$$F = 13.01 \text{ kg-m/s}^2 \quad F = 13.01 \text{ N}$$

6.6.5 Aceleración y velocidad angular

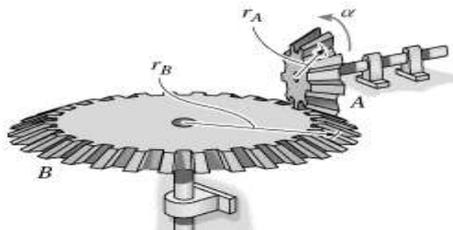


Figura. 6.4 Base del molde, elemento guía

Fuente: Francisco Alcocer

El elemento B girará 360° y formará un conjunto de engranes con el piñón A, donde se usa un tiempo aproximado de 1.5 segundos durante el giro del engrane.

Dónde:

$$W_B = 40 \text{ rpm} \quad 4.18 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$r_B = 78 \text{ mm}$$

Para que el engrane B se mueva se requiere de un piñón “A” dónde:

⁵ **Fuente:** Prueba T-99 AASHTO ver (Anexo C1)

$$r_A = 44\text{mm}$$

$$\alpha_A \cdot r_A = \alpha_B \cdot r_B$$

La aceleración angular se calcula con la ecuación 2.14.

$$\alpha_B = \left(\frac{r_A}{r_B}\right) \alpha_A$$

Con la ecuación 2.15 también tenemos que la velocidad angular del elemento B es:

$$W_B = \alpha_B \cdot t$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.14 tenemos que:

$$\begin{aligned}\alpha_B &= W_B \cdot t \\ \alpha_B &= 4.18 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * 1.50 \text{ s} \\ \alpha_B &= 6.27 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\end{aligned}$$

Dónde:

$$\begin{aligned}\alpha_A &= \alpha_B \left(\frac{r_A}{r_B}\right) \\ \alpha_A &= 6.27 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \left(\frac{44}{78}\right) \\ \alpha_A &= 3.53 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}\end{aligned}$$

Despejando de la ecuación 2.14 se obtiene la velocidad angular.

$$\begin{aligned}W_A &= 3.53 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} * 1.50 \text{ s} \\ W_A &= 5.31 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\end{aligned}$$

6.6.6 Cálculo de la potencia en el sistema de engranes

Engrane B

Para el cálculo de la inersia de elemento se utiliza la ecuación 2.16.

$$I_{GB} = \frac{1}{2}mr^2$$

Densidad del acero 7850 kg/m³. Se calcula la masa del elemento con la ecuación 2.17, dónde:

$$m = \rho * V$$

$$m = 7850 \text{ kg/m}^3 * [\pi * (0.078\text{m})^2(0.020)]$$

$$m = 3.00 \text{ kg}$$

Considerando el rozamiento dinámico de este elemento donde, contacto Acero/Acero (Anexo B2).

μ_d = Coeficiente dinámico 0.57, con la ecuación 2.18 se tiene la fuerza de rozamiento.

$$F_r = \mu_d * m * g$$

$$F_r = 0.57 * 3.00 * 9.81$$

$$F_r = 16.77\text{N}$$

Con la ecuación 2.16, se tiene:

$$I_G = \frac{1}{2} 3 \text{ kg}(0.078\text{m})^2$$

$$I_G = 0.009 \text{ kg.m}^2$$

El cálculo del esfuerzo de torsión se calcula con la ecuación 2.20.

Dónde:

$$\tau = I_* \alpha_B$$

$$\tau = 9 * 10^{-3} \text{ kg.m}^2 * 6.27 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\tau = 0.056 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Reemplazando en la ecuación 2.19 se tiene la fuerza total:

$$F = \frac{\tau}{r} + F_R$$

$$F = \frac{0.056}{0.078} + 16.77$$

$$F = 16.77 \text{ N}$$

Torque del engrane

Calculamos el torque del engrane con la ecuación 2.21, dónde:

$$T = F * r \text{ (Nm)}$$

$$T = 16.77\text{N} * 0.078\text{m}$$

$$T = 1.30\text{Nm}$$

Potencia del engrane B

Con la ecuación 2.22 se tiene:

$$H = T * \alpha \text{ (watts)}$$

$$H = 1.34\text{Nm} * 6.27 \text{ rad/seg}$$

$$H = 8.40 \text{ Watts}$$

$$H_1 = 0.011 \text{ hp}$$

6.6.7 Cálculo de la potencia en el piñón A



Figura. 6.5 Piñón impulsor
Fuente: Francisco Alcocer

Con la ecuación 2.17 se tiene la masa del piñón.

Densidad del acero 7850 kg/m^3

$$m = \rho * V$$

$$m = 7850 \text{ kg/m}^3 * [\pi * (0.044\text{m})^2(0.040)]$$

$$m = 1.90 \text{ Kg}$$

Fuerza de rozamiento

Considerando el rozamiento dinámico de este elemento de la ecuación 2.16 y 2.18 se tiene:

Contacto Acero/Acero

μ_d = Coeficiente dinámico 0.57

$$F_r = \mu_d * m * g$$

$$F_r = 0.57 * 1.90 * 9.81$$

$$F_r = 5.31 \text{ N}$$

$$I_G = \frac{1}{2} 1.90 \text{ kg}(0.044\text{m})^2$$

$$I_G = 0.0034 \text{ kg.m}^2$$

De la ecuación 2.20 se tiene:

$$\tau = I * \alpha_A$$

$$\tau = 3.4 * 10^{-3} \text{ kg. m}^2 * 3.53 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\tau = 0.012 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

La ecuación 2.19, describe la fuerza del piñón.

Dónde:

$$F = \frac{\tau}{r} + F_R$$

$$F = \frac{0.012}{0.044} + 5.31$$

$$F = 5.58 \text{ N}$$

Torque del piñón se obtiene de la ecuación 2.21.

Dónde:

$$T = F * r \text{ (Nm)}$$

$$T = 5.58\text{N} * 0.044\text{m}$$

$$T = 0.24\text{Nm}$$

Potencia del piñón se obtiene de la ecuación 2.22.

Dónde:

$$H = T * \omega \text{ (Hp)}$$

$$H = 0.24\text{Nm} * 3.53 \text{ rad/seg}$$

$$H = 0.84 \text{ Watts}$$

$$H_2 = 0.001 \text{ hp}$$

6.6.8 Cálculo de la potencia para el eje A



Figura 6.6 Eje A
Fuente: Francisco Alcocer

Densidad del acero 7850 kg/m^3 , de la ecuación 2.17 se obtiene:

$$m = \rho * V$$

$$m = 7850 \text{ kg/m}^3 * [\pi * (0.025\text{m})^2(0.20\text{m})]$$

$$m = 3.08 \text{ Kg}$$

Reemplazando la masa en la ecuación 2.18, se tiene:

$$F_r = \mu_d * m * g$$

$$F_r = 0.57 * 3.08 * 9.81$$

$$F_r = 17.22 \text{ N}$$

Momentos de Inercia. Con la masa de la ecuación 2.18 reemplazamos en las ecuaciones 2.16 y 2.20, respectivamente se tiene:

$$I_{GA} = \frac{1}{2} 3.08 \text{ kg} (0.025\text{m})^2$$

$$I_{GA} = 0.0096 \text{ kg.m}^2$$

$$\tau = I_* \alpha_A$$

$$\tau = 9.6 * 10^{-3} \text{ kg. m}^2 * 3.53 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\tau = 0.033 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

La fuerza se calcula a través de la ecuación 2.19, entonces:

$$F = \frac{\tau}{r} + F_R$$

$$F = \frac{0.033}{0.044} + 5.31$$

$$F = 6.06 \text{ N}$$

De la ecuación 2.21 se obtiene el torque del eje teniendo así:

$$T = F * r \text{ (Nm)}$$

$$T = 6.06\text{N} * 0.025\text{m}$$

$$T = 0.15\text{Nm}$$

De la ecuación 2.22 se obtiene la potencia del eje.

$$H = T * \alpha \text{ (Hp)}$$

$$H = 0.15\text{Nm} * 3.53 \text{ rad/seg}$$

$$H = 0.53 \text{ Watts}$$

$$H_3 = 0.011 \text{ hp}$$

6.6.9 Cálculo de la potencia para el piñón de cadena

En la figura 6.7 se representa un piñón de cadena.

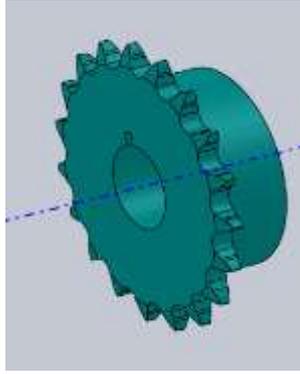


Figura 6.7 Piñón para cadena.

Fuente: Francisco Alcocer

Densidad del acero 7850 kg/m^3 . De la ecuación 2.17, se tiene:

$$m = \rho * V$$

$$m = 7850 \text{ kg/m}^3 * [\pi * (0.068\text{m})^2 (0.025\text{m})]$$

$$m = 2.85 \text{ Kg}$$

La fuerza de rozamiento se obtiene a partir de la ecuación 2.18, se tiene:

$$F_r = \mu_d * m * g$$

$$F_r = 0.57 * 2.85 * 9.81$$

$$F_r = 15.9 \text{ N}$$

$$I_{GA} = \frac{1}{2} 2.85 \text{ kg} (0.068\text{m})^2$$

$$I_{GA} = 0.0096 \text{ kg.m}^2$$

El torque del eje se obtiene reemplazando en la ecuación 2.20 dónde:

$$\tau = I * \alpha_A$$

$$\tau = 9.6 * 10^{-3} \text{ kg.m}^2 * 3.53 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\tau = 0.033 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

La fuerza del eje se calcula con la ecuación 2.19, dónde:

$$F = \frac{\tau}{r} + F_R$$

$$F = \frac{0.033}{0.044} + 5.31$$

$$F = 6.06 \text{ N}$$

Torque del piñón, se obtiene reemplazando en la ecuación 2.21.

Dónde:

$$T = F * r \text{ (Nm)}$$

$$T = 6.06\text{N} * 0.068\text{m}$$

$$T = 0.41\text{Nm}$$

Potencia del piñón, se reemplaza el torque del eje en la ecuación 2.22, dónde:

$$H = T * \omega \text{ (Hp)}$$

$$H = 0.41\text{Nm} * 3.53 \text{ rad/seg}$$

$$H = 1.44 \text{ Watts}$$

$$H_4 = 0.019 \text{ hp}$$

6.6.10 Cálculo de la potencia para el eje C

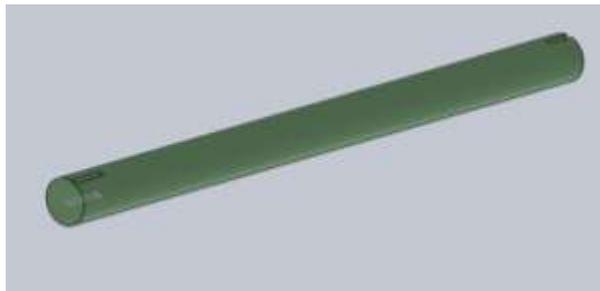


Figura 6.8 Eje secundario C

Fuente: Francisco Alcocer

Densidad del acero 7850 kg/m^3

Con la ecuación 2.17 se obtiene la masa del elemento.

$$m = \rho * V$$

$$m = 7850 \text{ kg/m}^3 * [\pi * (0.025\text{m})^2(0.350\text{m})]$$

$$m = 1.71 \text{ Kg}$$

La fuerza de rozamiento se obtiene mediante la ecuación 2.18, y se tiene que:

$$F_r = \mu_d * m * g$$

$$F_r = 0.57 * 1.71 * 9.81$$

$$F_r = 9.56 \text{ N}$$

La inercia y el esfuerzo de torsión, se calculan con la ecuación 2.16 y 2.20, respectivamente, dónde:

$$I_{GA} = \frac{1}{2} 1.71 \text{ kg} (0.025\text{m})^2$$

$$I_{GA} = 0.0053 \text{ kg.m}^2$$

$$\tau = I * \alpha_A$$

$$\tau = 5.3 * 10^{-3} \text{ kg. m}^2 * 3.53 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\tau = 0.018 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

La fuerza del eje se calcula reemplazando los valores en la ecuación 2.19, dónde:

$$F = \frac{\tau}{r} + F_R$$

$$F = \frac{0.018}{0.035} + 9.56$$

$$F = 10.07 \text{ N}$$

Torque del eje. La fuerza se reemplaza en la ecuación 2.21, dónde:

$$T = F * r \text{ (Nm)}$$

$$T = 10.07\text{N} * 0.035\text{m}$$

$$T = 0.35\text{Nm}$$

Con la ecuación 2.22 se obtiene la potencia del eje.

Dónde:

$$H = T * \alpha \text{ (Hp)}$$

$$H = 0.35\text{Nm} * 3.53 \text{ rad/seg}$$

$$H = 1.24 \text{ Watts}$$

$$H_5 = 0.016 \text{ hp.}$$

6.6.11 Cálculo de la potencia para la base giratoria

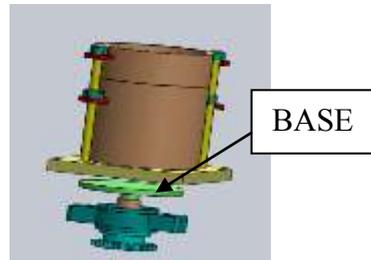


Figura 6.9 Conjunto molde y base

Fuente: Francisco Alcocer

Dónde:

$$\text{Torque} = 100.90\text{N-m} \quad (892.96 \text{ Lb-pul.}).$$

Se conoce la velocidad angular, la potencia obtenida se calcula con la ecuación 2.22.

Dónde:

H = Potencia (HP)

$$W_B = 40 \text{ rpm}$$

$$H = \frac{T * W_{EC}}{63000}$$

$$H_6 = \frac{892.96 * 40}{63000}$$

$$H_6 = 0.56$$

Cálculo de la fuerza de empuje

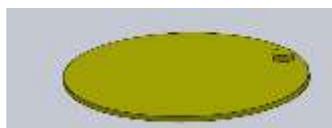


Figura 6.10 Rueda impulsora

Fuente: Francisco Alcocer

Densidad del acero 7850 kg/m³

Se calcula la masa con la ecuación 2.17, dónde:

$$m = \rho * V$$

$$m = 7850 \text{ kg/m}^3 * [\pi * (0.040\text{m})^2(0.0064\text{m})]$$

$$m = 0.23 \text{ Kg}$$

Fuerza de rozamiento

Considerando el rozamiento dinámico de este elemento donde:

Contacto Acero/Acero (Anexo B2).

μ_d = Coeficiente dinámico 0.57, con la ecuación 2.16 y 2.18, respectivamente se tiene:

$$F_r = \mu_d * m * g$$

$$F_r = 0.57 * 0.23 * 9.81$$

$$F_r = 1.23 \text{ N}$$

$$I_{GA} = \frac{1}{2} 0.23 \text{ kg}(0.0064\text{m})^2$$

$$I_G = 4.14 * 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

Reemplazando en la ecuación 2.20 la inercia y la fuerza de rozamiento tenemos que:

$$t = I * \alpha_B$$

$$\tau = 4.14 * 10^{-6} \text{ kg.m}^2 * 6.27 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$M_t = 2.59 * 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

La fuerza de la rueda impulsora se obtiene mediante la ecuación 2.19, con los datos de la ecuación 2.20, dónde:

$$F = \frac{M_t}{r} + F_R$$

$$F = \frac{2.59 * 10^{-5} \frac{Kg}{m^2}}{0.006m} + 1.23 N$$

$$F = 1.23 N$$

El torque de la rueda impulsora se calcula con la ecuación 2.21.

$$T = F * r$$

$$T = 1.23 * 0.006 = 7.38 * 10^{-3} Nm$$

Velocidad experimental en la base giratoria

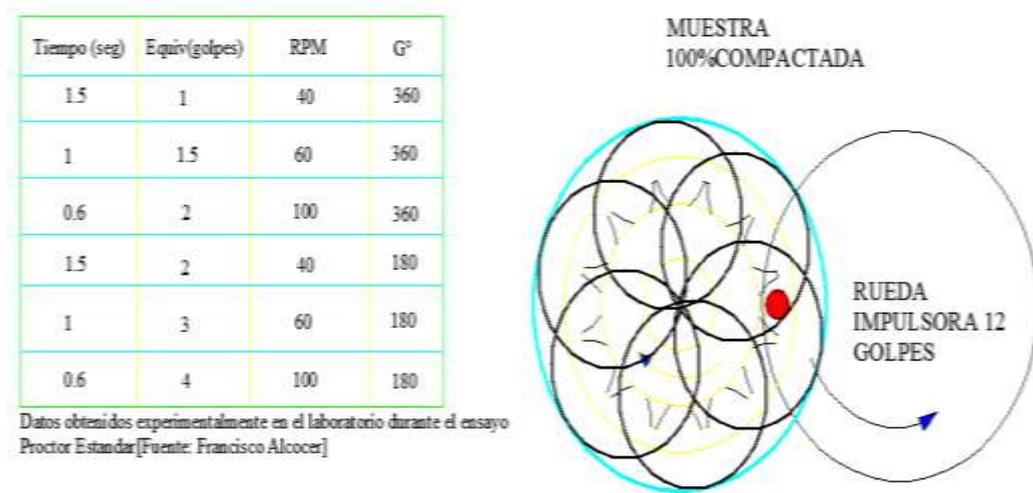


Figura 6.11 Datos experimentales de una compactación proctor modificado.

FUENTE: Laboratorios de suelos

Como se puede observar en la figura 6.11, se determinó un ensayo experimental, de modo que la obtención de estos nos permita seleccionar un cierto número de revoluciones para el diseño de la rueda impulsora que será igual al del engrane ya que irá sobrepuesta en este, por lo que para el diseño tomamos 100 rpm para el engrane y el piñón.

Torque en el piñón de empuje

Para el movimiento giratorio se utiliza un piñón de cadena de 12 dientes de 2 dientes/pulg, según el experimento realizado cumplirá un giro de 60° de la base del molde. Como muestra la figura 6.13.

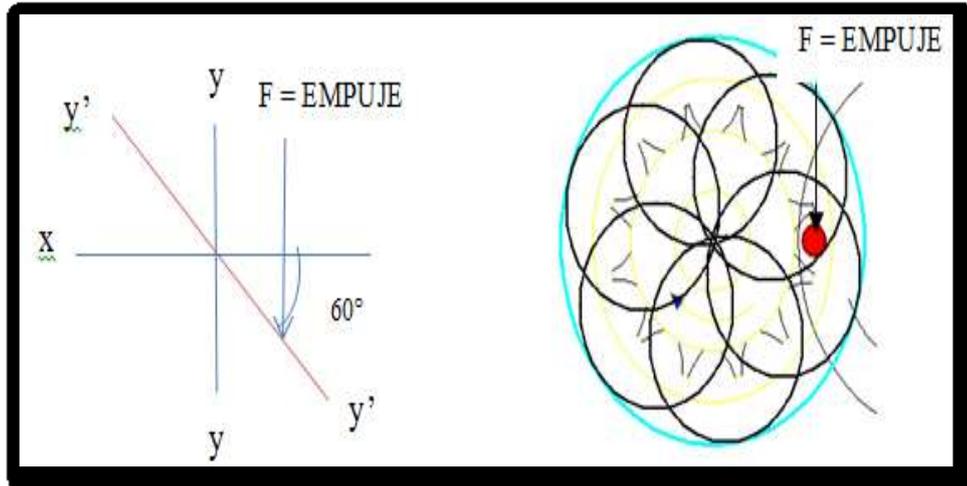


Figura 6.12 Datos experimentales con un piñón de cadena
FUENTE: Laboratorios de Suelos

Se tiene la fuerza de empuje que es:

$$F = 1.23 \text{ N}$$

6.6.12 Potencia requerida para el sistema

Para la potencia requerida para mover al sistema se suman todas las potencias de todos los elementos que van a estar en movimiento en la ecuación 2.23.

Dónde:

$$H_1 = 0.011 \text{ Hp}$$

$$H_2 = 0.001 \text{ Hp}$$

$$H_3 = 0.001 \text{ HP}$$

$$H_4 = 0.076 \text{ HP}$$

$$H_5 = 0.016 \text{ HP}$$

$$H_6 = 0.56 \text{ HP}$$

$$H_{\text{Sis}} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6$$

$$H_{\text{Sis}} = 0.67 \text{ HP}$$

6.6.12.1 Selección del motor

Para determinar la potencia total requerida se divide para el rendimiento que el motor eléctrico tiene, de esta forma se despeja de la ecuación 2.24, dónde:

$$P_T = \frac{H}{n}$$

Considerando una eficiencia nominal del 75 %, ver Anexo B4, para motores eléctricos se obtiene la potencia necesaria.

$$P_T = 0.92 \text{ hp}$$

Se requiere un motor de 0.92 hp, pero como en el mercado no existe motores de esta potencia se selecciona un motor de 1 hp. Ver anexo B3.

6.6.12.2 Caja reductora de velocidad (Ver anexo B5)

Para la selección de la caja reductora calculamos con la ecuación 2.24 la potencia de salida utilizando la potencia de entrada donde:

$$H_C = \frac{H_{\text{Sis}} * R}{100}$$

$$H_C = \frac{745.7 * 95}{100}$$

$$H_C = 730 \text{ wats} = 0.98 \text{ Hp}$$

Potencia nominal

El factor de servicio de 8 a 10 h/día $sf = 1.75$ (Anexo B1), de la ecuación 2.25 se tiene:

$$H_{\text{nom}} = H_C * fs$$

$$H_{\text{nom}} = 0.98 * 1.75$$

$$H_{\text{nom}} = 1.71 \text{ hp} \quad 1.27 \text{ Kw}$$

La velocidad del eje movido es de 100 rpm donde:

La relación de velocidad es $= 1 = 1730/100$, relación 17.

Del catálogo (Anexo B5)⁶ se selecciona un reductor Etsa modelo 4 M necesario para cumplir con el trabajo.

⁶ Catálogo Etsa ,Modelo 4M, reductores de velocidad

6.6.13 Parámetros de diseño para selección de cadenas⁷

La velocidad de entrada será de 1730 rpm, en el motor y la de salida se espera que sea de 100 rpm, teniendo así :

Dónde:

Del (Anexo B6) de los factores de servicio para impulsores de cadena tenemos:

Tipo de carga ligera (choques moderados).

$$SF = 1.2$$

$$\text{Potencia de diseño (1) (1)} = 1.2 \text{ hp}$$

Calculamos la relación que deseamos utilizando la parte media del rango requerido de velocidades.

$$\text{Relación (100 rpm /112.5 rpm)} = 0.88 \text{ relación de 1.}$$

De las tablas 17-10 de Shygley (Anexo B7), seleccionamos el paso de la cadena. Para un solo tramo la cadena número 40 con $p = 12.7$ parece ser la más adecuada una rueda dentada de 19 dientes a 1 hp a 100 rpm a esta velocidad se necesita lubricación tipo I, lubricación manual o por goteo por lo menos cada 8 horas de funcionamiento.

Como la relación de transmisión de los piñones es de 1:1, tenemos que:

$$N_2 = N_1 = 19 \text{ Dientes}$$

Velocidad real que se espera

$$n_2 = n_1 (N_1/N_2) = 100 \text{ rpm (19/19)} = 100 \text{ rpm ok}$$

Calculamos el diámetro de paso de las ruedas dentadas, mediante la ecuación 2.26, Entonces:

$$D_1 = \rho \operatorname{sen} \left(\frac{180^\circ}{N_1} \right) = \frac{0.50}{\operatorname{sen} \left(\frac{180^\circ}{19} \right)} = 3,12 \text{ " } = D_2$$

⁷ Diseño de elementos de máquinas ,Robert.L.Mott,2^{da}Edición,página 425,426

Diámetro de paso

Utilizamos la parte central nominal y la parte media del rango que se sugiere 40 pasos. Calculamos la longitud de la cadena que se necesita en pasos, con la ecuación 2.27.

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C}$$
$$L = 2(40) + \frac{19 + 19}{2} + \frac{(19 - 19)^2}{4\pi^2 C}$$

$$L = 99 \text{ Pasos}$$

Especificamos la distancia central real con la ecuación 2.28.

$$C = \frac{1}{4} \left[116 - \frac{19 + 19}{2} + \sqrt{\left[116 - \frac{19 + 19}{2} \right]^2 - \frac{8(19 - 19)^2}{4\pi^2}} \right]$$

$$C = 48.49 \text{ pasos} = 48.49 (0.50) = 24.24''$$

En resumen necesitamos una cadena número 40 con paso 0.50' y 99 pasos. Cuatro ruedas de 19 dientes de 3.12'' (ver anexo B8)⁸. Distancia central máxima de 24.24'' lubricación tipo 1 manual o por goteo cada 8 horas de funcionamiento. La distancia real que se necesita para el montaje es de 391 mm = 15.39'' por lo que se procederá a sacar el gancho de unión y a sacar los eslabones q no se utilice

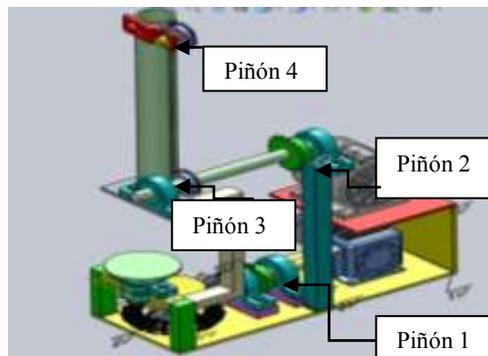


Figura 6.14 Esquema motriz piñones, cadenas
FUENTE: Francisco Alcocer

Diagrama de piñones para cadena

⁸ Catálogo Flexom ,Cadenas

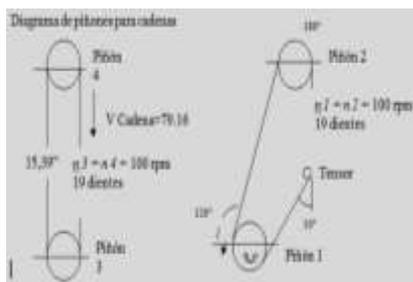


Figura 6.15 Diagrama de piñones para cadenas
FUENTE: Francisco Alcocer

Para la colocación del tensor . (Anexo B9)⁹.

Como sabemos la cadena del piñón 1 y 2 tiene una función especial que es transportar un pisón de 2.5 kg, como muestra la figura 6.16.

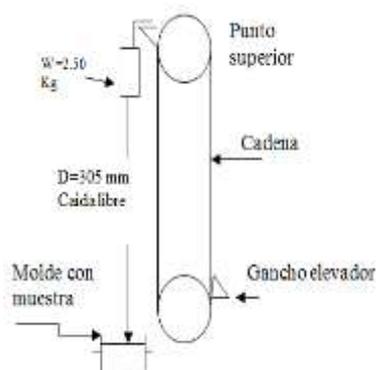


Figura 6.16 Diagrama de caída del pisón
FUENTE: Francisco Alcocer

El cálculo de la fuerza de tracción necesaria para el trabajo efectivo de esta cadena se toma en cuenta la ecuación 2.29. Tabla 9 (Anexo B10).

$$T_t = D \cdot (P_c + N)$$

P_c = Peso de la cadena (2.10kg) tabla 17 (Anexo B7)

$$T_t = 0.305 \cdot (2.10 + 2.50) , T_{t2} = 0.427 \cdot (2.10 + 2.50)$$

$T_t = 1.403$ kg/m para P1

$T_{t2} = 1.96$ kg/m para P2

Tracción real de trabajo se calcula con la ecuación 2.30, dónde:

⁹ <http://www.google.com.ec/tracción/cadenas/tipo.pdf>. Tabla 9 ,tracción en el transportador

$$Tr = 1,2 \times C1 \times C2 \times Tt \text{ (Kg)}$$

Dónde:

C1 = Coeficiente reductor debido a condiciones de trabajo y mantenimiento.

C2 = Coeficiente corrector de tiempo de trabajo.

Tr = Tracción real de trabajo

De la tabla 11 y 12 (Anexo B11)¹⁰ se obtienen los siguientes datos y se rempazan en la ecuación 2.30, dónde:

C1=Ambiente limpio = 1

C2 = Tipo de carga discontinua de 0-8 horas = 1.2

$$Tr = 1,2 \times 1 \times 1.2 \times 1.403 = 1.68 \text{ kg} = 16.48 \text{ N}$$

6.6.14 Análisis de esfuerzos en la placa base

Para el diseño de la placa base en donde irá soportado el molde se tomará en cuenta los siguientes parámetros:

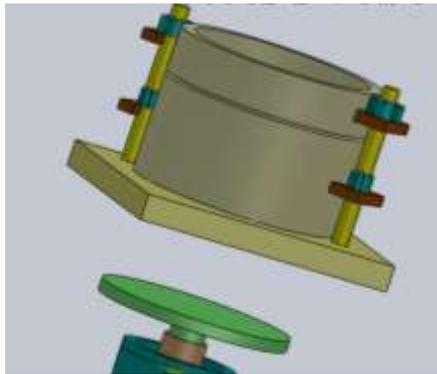


Figura 6.17 Molde proctor estándar con placa base

Fuente: Francisco Alcocer

Tomando en cuenta que la fuerza de caída será aplicada en las partes indicadas en el diagrama tomamos los siguientes parámetros.

Diámetro de la placa base = 112.4 mm Material Acero Astm A 36 (Anexo B12).

Peso del molde =5.27 Kgf

¹⁰ <http://www.google.com.ec/tracción/cadenas/tipo.pdf>. Tabla 24 , Numero de dientes del piñón.

Peso del suelo = 3.00 Kgf

Peso total = 8.27 Kgf* 9.81 = 81.13 N molde , 24.52 N pisón

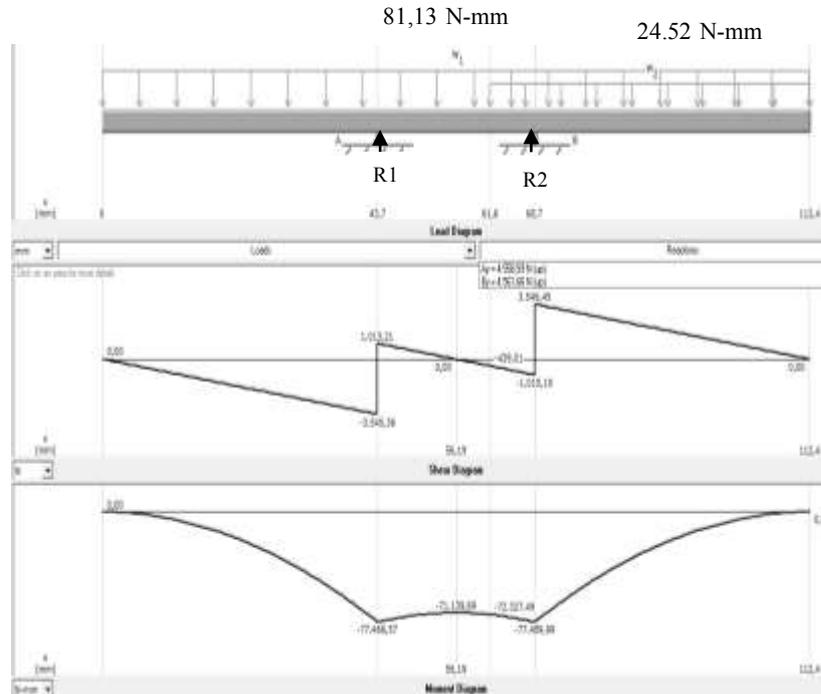


Figura 6.18 Diagrama de fuerzas en la base ejes xy
Fuente: Francisco Alcocer

Sumatoria de fuerzas

$R1 = AY = 4558.59 \text{ N}$

$R2 = BY = 4561.66 \text{ N}$

Máx. = - 77489.99 N-mm Momento Máximo

Esfuerzo máximo y momento de inercia

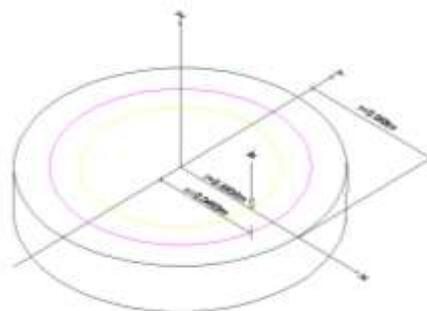


Figura 6.19 Inercia con respecto a un punto en el eje x.
Fuente: Francisco Alcocer.

La inercia con respecto al eje x se calcula mediante la ecuación 2.31, Dónde:

$$I_p = \frac{\pi * r^4}{2}$$

El esfuerzo máximo a flexión se calcula con la ecuación 2.32, Dónde:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{774.89 (0.0562)}{\pi * \frac{(0.0562)^4}{2}}$$

$$\sigma = 3226668.99 \frac{N}{m^2}$$

Determinando el esfuerzo efectivo de Von Misses, ecuación 2.33.

$$\sigma' = \sqrt{\delta x^2 + 3\tau x y^2}$$

$$\sigma' = \sqrt{3226668.98^2}$$

$$\sigma' = 3226668.98 \frac{N}{m^2}$$

Acero ASTM A-36¹¹ impuesto.

Dónde:

$$S_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$n = \frac{250000000}{3226668.98}$$

$$n = 77.47$$

Sobredimensionado.

Asumo un factor para diseño estático

$$n_d = 9$$

$$\sigma' \leq \frac{s_y}{n_d}$$

$$\sigma' = \frac{250000000}{9} = 27777777.78 \frac{N}{m^2}$$

¹¹ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 4ta Edición, tabla A-24

Cálculo del factor de seguridad para este material utilizando la ecuación 2.34.

$$n = \frac{250000000}{27.8} = 8.9$$

Para un factor de diseño adecuado y un material que se encuentra fácilmente en el mercado, seleccionamos una placa de acero ASTM A-36 con un porcentaje de reducción en el área del 25 %, por lo cual el factor de seguridad adecuado para este elemento es:

$$n = \frac{250000000 * 0.25}{27777777.78} = 2.25$$

Con la ecuación 2.35, la base debe soportar una fluencia de:

$$\delta_{perm} = \frac{S_y}{n} = \frac{250}{2.25} = 111.11$$

$$t = \frac{100.90}{0.09(111.11)} = 10.09 \text{ mm o mayor}$$

La placa seleccionada será de 13 mm de espesor y 112.4 mm de diámetro.

Diseño a fatiga de la placa base

Mediante la ecuación 2.41, se tiene :

S_e = Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

S'_e = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra en viga rotatoria

$S_{ut} = 400 \text{ Mpa}$

$S'_e = 0.5(S_{ut})$

$S'_e = 0.5(400) = 200 \text{ Mpa}$

De la tabla 6-2 (Anexo B13).

Factor a como sale de la forja $S_{ut} = 4.51 \text{ Mpa}$, exponente = -0.265

Factor de confiabilidad, $(k_a)^{12}$ (Anexo B13)

$$k_a = 4.51(400)^{-0.265}$$
$$k_a = 0.92$$

Factor de tamaño $(k_b)^{13}$

Para carga axial no ay efecto de tamaño, por tanto:

$$k_b = 1$$

En este caso el diámetro efectivo del elemento es el diámetro de 112.4 mm.

$$d_e = 112.4 \text{ mm}$$

Para el valor del factor de carga, para una confiabilidad $(k_c)^{14}$ del 90% (ver anexo B14).

$$k_c = 0.897$$

Factor de temperatura $(k_d)^{15}$ considerando que va a trabajar a la temperatura ambiente.

$$k_d = 1$$

Factor de concentración de esfuerzos por fatiga $k_f = 1$ (Anexo B15).

El límite de resistencia a la fatiga se calcula mediante la ecuación 2.41.

$$S_e = K_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e'$$
$$S_e = 0.92(1)(1)(1)(0.897)(1)(200)$$
$$S_e = 165.04 \text{ Mpa}$$

Factor de carga a fatiga se calcula con la ecuación 2.42, dónde:

$$n = \frac{S_e}{\sigma} = \frac{165.04}{27,777} = 5.94$$

¹² Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 4ta Edición, pag, 318, tabla 7-4

¹³ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 3ra Edición, pag, 313

¹⁴ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 3ra Edición, pag, 319, tabla 7-7

¹⁵ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 3ra Edición, pag, 321

6.6.15 Cálculo del rodamiento para la base del molde

Como muestra la figura 6.20 de los datos ya obtenidos tenemos:

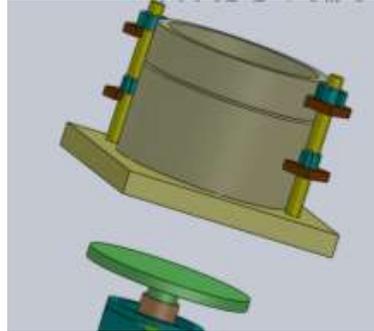


Figura 6.20 Molde proctor estándar con placa base.
Fuente: Francisco Alcocer.

$$R_a = 4558.59 \text{ N}$$

$$R_b = 4561.66 \text{ N}$$

$$L_{10} = 8000 \text{ Horas de servicio (Ver anexo B17)}$$

El número de revoluciones del plato giratorio es $n = 6.66$

$$R = 90 \% = a_1 = 1 \text{ (Anexo B18)}$$

Lubricante ISO VG 46

$$V = 46 \text{ (Anexo B29)}$$

Tipo de montaje en X (Anexo B30)

Condiciones de Carga, utilizamos la ecuación 2.100, dónde:

$$F_{ra} < F_{rb}$$

$$k_a < 1.14(F_{ra} - F_{rb})$$

$$k_a < 1.14(4558.59 - 4561.66)$$

$$k_a < 2.77$$

Tomamos el caso 1c (Anexo B30). Determinamos la capacidad de carga estática requerida con la ecuación 2.101 para cargas axiales.

$$\text{Dónde la fuerza exterior } K_a = 0$$

Carga radial pura

$$F_{aB} = 1.14 F_{rB}$$

$$F_{aB} = 1.14 (4561.66)$$

$$F_{aB} = 5200.29 \text{ N}$$

Cargas axiales $F_{aA} = F_{aB} - k_a$

$$F_{aA} = 5200.29 - 0$$

$$F_{rB} = 5200.29 \text{ N}$$

Reemplazamos en la ecuación 2.60, y se calcula la capacidad de carga estática donde:

$$C_0 = 1.5 * 5200.29$$

$$C_0 = 7800 \text{ Requerida}$$

Con la ecuación 2.61 calculamos la capacidad de carga dinámica requerida donde:

$$C = 7800 * \sqrt[3]{\frac{8000 * 6.66 * 60}{1000000 * 1.0 * 2.0}}$$

$$C = 12467.52 \text{ N}$$

Del catálogo SKF (Anexo B19), designación del rodamiento G205.

$$C = 14000$$

$$D = 52 \text{ mm}$$

$d = 25 \text{ mm}$, se utiliza la ecuación 2.62 para el cálculo del diámetro medio, dónde:

$$d_m = \frac{52 + 25}{2}$$

$$d_m = 38.5. \text{ Dónde:}$$

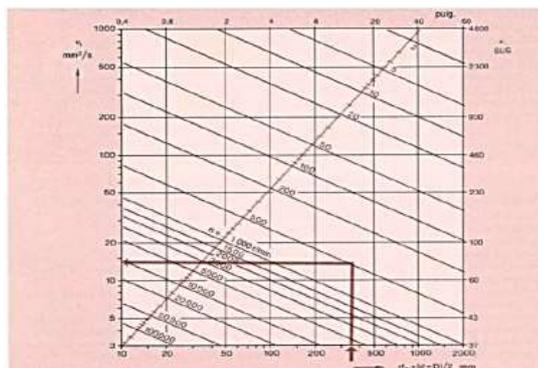


Figura 6.21 Diagrama para determinar v_1 .

Fuente: [Catálogo SKF].

$v_1 = 7 \text{ mm}^2/\text{seg}$ figura. 6.22

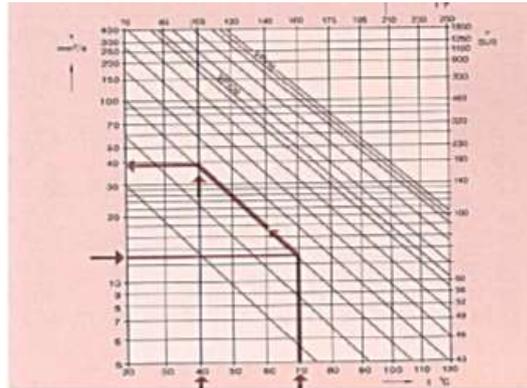


Figura 6.22 Diagrama para determinar v .
Fuente: [Catálogo SKF].

$v = 14$ figura 6.23

Aplicando la ecuación 2.64 tenemos:

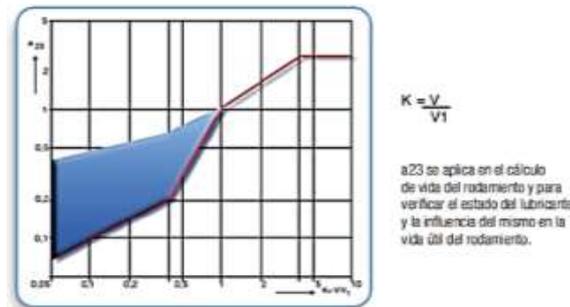


Figura 6.23 Diagrama para determinar a_{23}
Fuente: [Catálogo SKF].

$$k = \frac{v}{v_1}$$

$$k = \frac{14}{7} = 2$$

$$a_{23} = 1.5$$

Verificamos si está bien seleccionado el rodamiento con la ecuación 2.61.

$$C = 7800 * \sqrt[3]{\frac{8000 * 6.66 * 60}{1000000 * 1.0 * 1.9}}$$

$$C = 9277.163 \text{ N}$$

Como la capacidad de carga calculada es menor que la capacidad requerida se selecciona del catálogo SKF un rodamiento rígido de bolas designación G205 $D = 52 \text{ mm}$, $d = 25 \text{ mm}$.

6.6.16 Análisis de fuerzas en el gancho elevador

Debido a condiciones de montaje se suelda un gancho de acero que servirá para elevar el peso estándar de $P_1 = 2.5 \text{ kg}$, 24.52 N este peso va aplicado en la cara superior del gancho como muestra la figura 6.24.

Como dato tenemos la longitud del gancho $L = 10 \text{ mm}$, el ancho $a = 10 \text{ mm}$

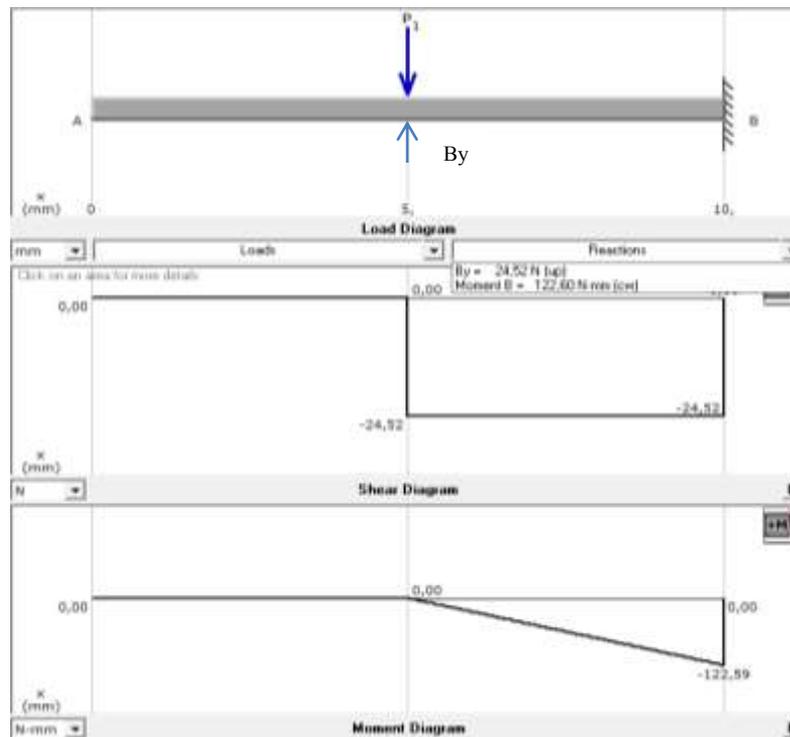


Figura 6.24 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en gancho
FUENTE: Francisco Alcocer

Sumatoria de fuerzas

$$B_y = 24.52 \text{ N}$$

$$M_{\max} = 0.12 \text{ N}$$

El esfuerzo flexionante encontramos aplicando la ecuación 2.43.

$$\sigma_{\text{Flexión}} = \frac{6 * 0.12 \text{ Nm}}{bh^2}$$

$$\sigma_{\text{Axial}} = \frac{0.72 \text{ Nm}}{bh^2}$$

Aplicando la ecuación 2.44, el esfuerzo calculado es:

$$\sigma_{eq} = \sigma_a = \sqrt{\left(\frac{0.76 \text{ Nm}}{bh^2}\right)^2}$$

Igualando la ecuación 2.43 se tiene:

$$\frac{0.76 \text{ Nm}}{bh^2} = \frac{S_y}{n}$$

Asumiendo un factor de seguridad de 20 si se toma una placa de $h = 0.010 \text{ m}$, dónde el factor asumido es muy alto, se sobredimensiona al elemento, puesto que se puede justificar este valor asumido con la ecuación de la deflexión (ecuación 2.45), así se puede seleccionar el elemento deseado.

Despejando b se tiene:

$$\frac{7600 \text{ N}}{b} = \frac{247.79 \text{ Mpa}}{20}$$

Despejando b se tiene 0.61 mm lo cual es satisfactorio, así que podemos seleccionar un pedazo de platina de $10 \times 10 \text{ mm}$.

Para el cálculo de la deflexión en una viga en voladizo se calcula con la ecuación 2.45, dónde:

$$Y_{\text{max}} = -\frac{F * a^3}{6 * E * I} (a - 3l)$$

Dónde:

Y_{max} = Deflexión máxima en voladizo con carga intermedia

l = Longitud de la placa

$$Y_{\max} = -\frac{2.5 \text{ kgf} * (0.001)^2}{6 * 2.10^{11} * 3.6 * 10^{-9}} (0.001 - 3(0.001))$$

$$Y_{\max} = -1.15 * 10^{-12}$$

$$Y_{\max} = -1.15 * 10^{-9} \text{ mm}$$

Con el resultado obtenido se concluye que la deflexión es insignificante por lo que se selecciona una platina calculada.

6.6.17 Análisis de esfuerzos en los ejes A, C

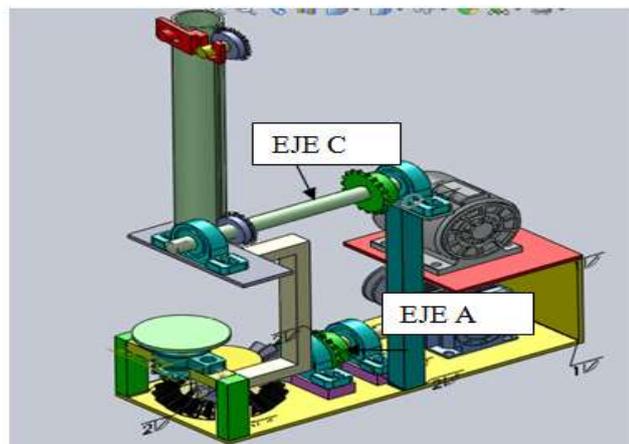


Figura 6.25 Montaje de elementos móviles

Fuente: Francisco Alcocer

Diagrama de fuerzas Eje C

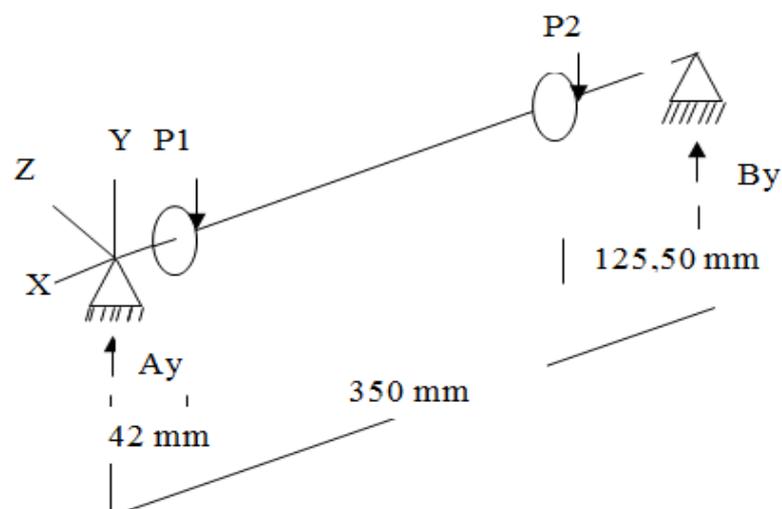


Figura 6.26 Distribución de fuerzas en el eje C

FUENTE: Francisco Alcocer

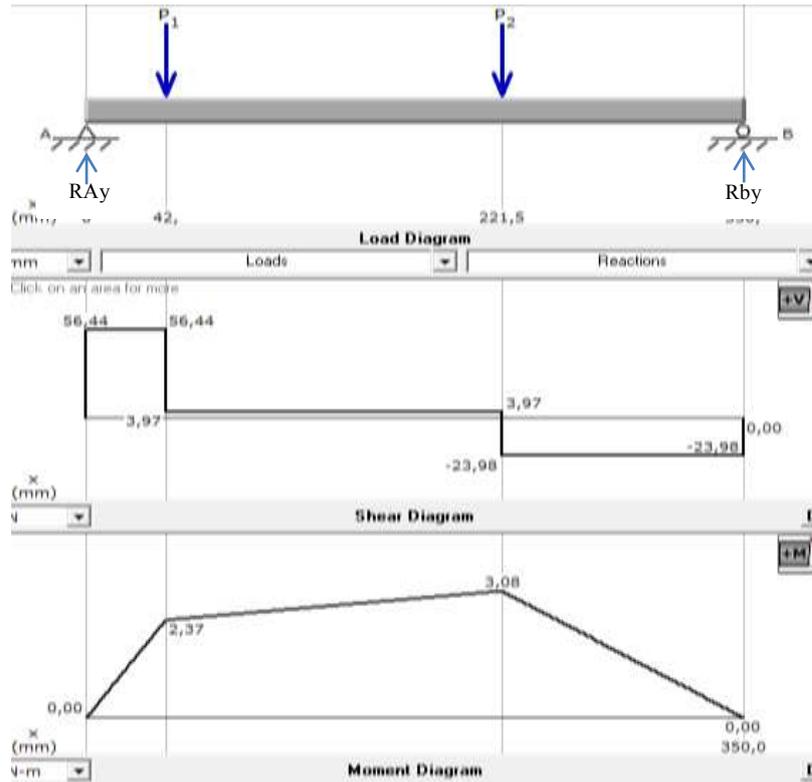


Figura 6.27 Diagrama de fuerzas en el eje C
FUENTE: Francisco Alcocer

Tomamos en cuenta la fuerza que se necesita para levantar un peso de 2.50 kg que es aplicado al eje como una fuerza puntual 52.47 N en P1 y una fuerza de 27.95 N en P2 , figura 6.26.

EJE C

$$R_{By} = 23.98 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = 56.44 \text{ N}$$

$$M_{\text{m}\acute{a}\text{x}} = 3.08 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Cálculo del Esfuerzo permisible del eje C

Para el diseño del eje se construyó con una barra de acero SAE 1018¹⁶, tiene una resistencia a la fluencia tabulada de 32 kpsi y 25% de elongación se asume un factor de seguridad de 3 en base a diseño estático.

Del (Anexo B16)

¹⁶ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 4ta Edición, tabla A-20.

El módulo de la sección se calcula con la ecuación 2.46 entonces:

$$\frac{I}{c} = \frac{\pi * d^3}{32} = 0.0982 d^3$$

Empleando la ecuación 2.32 del esfuerzo máximo de tensión tenemos:

$$\sigma = \frac{M}{I/c}$$

Dónde:

M = Momento máximo = 3.08 N-m (27.26lbf-pulg)

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{27.26}{0.0982 d^3}$$

Sustituyendo el esfuerzo del material seleccionado de Acero 1018, $S_y = 32000$ Psi

Despejamos d:

$$d = \sqrt[3]{\frac{27.26}{0.0982(32000)}} = 0.21 \text{ pulg} = 5.21 \text{ mm diametro mínimo}$$

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{27.26}{0.0982 (0.21)^3} = 29974.82 \text{ Psi}$$

Con la ecuación 2.34, se calcula el factor de seguridad.

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{32000}{29974.82} = 1.06$$

El eje debe soportar un esfuerzo de:

$$S_y = \frac{\sigma}{n_s} = \frac{29974.82}{1.06} = 28278 \text{ lb} - \text{pulg}^2$$

Con un factor de seguridad =3

$$S_y = \frac{\sigma}{n_s} = \frac{29974.82}{3} = 9991.60 \text{ lb} - \text{pulg}^2$$

El diámetro máximo

$$d = \sqrt[3]{\frac{27.26}{0.0982(9991.60)}} = 0.30 \text{ pulg} = 7.69 \text{ mm diametro máximo}$$

Torque del piñón seleccionado en P1 = 1.43 kg/m = 14.02 N y P2 = 1.96 kg/m (19.26 N-m).

Diseño a Fatiga del eje C

Utilizando la ecuación 2.47 y 2.48, se calculan los esfuerzos sometidos a flexión y axial respectivamente.

$$\sigma_a = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_m = \frac{32 * Mp}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_a = \frac{32 * 3.01}{\pi * d^3} = \frac{30.65}{d^3}, \quad \sigma_m = \frac{32 * 19.26}{\pi * d^3} = \frac{196.18}{d^3}$$

Esfuerzos sometidos a torsión se calcula con la ecuación 2.49, reemplazando tenemos:

$$\tau_m = \frac{16 * \tau}{\pi * d^3}$$

Utilizamos el torque de 19.26 N-m que soporta el piñón de cadena.

$$\tau_m = \frac{16 * 19.26}{\pi * d^3} = \frac{98.09}{d^3}$$

Los elementos de máquinas están sometidos a fatiga, se aplica la ecuación 2.35.

Dónde:

Se' = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra en viga rotatoria.

Sut = 400 Mpa

S'e = 0.5(Sut)

S'e = 0.5(400) = 200 Mpa

Los factores modificados del límite de fatiga para el eje son:

Factor superficial (ka)¹⁷

Este factor depende del acabado que se realiza en la superficie donde se tiene:

De la tabla 6-2 Shigley (Anexo B13)

Factor de acabado superficial ka se obtienen los siguientes valores a=1.52 b=0.085

$$k_a = aS_{ut}^b$$

$$k_a = 1.52 (400)^{-0.085}$$

$$k_a = 0.91$$

Factor de tamaño (kb)¹⁸

$$K_b = 0.879 d^{-0.107}$$

$$K_b = 0.879 (0.30)^{-0.107}$$

$$K_b = 0.99$$

Factor de confiabilidad (kc)¹⁹

Para una confiabilidad del 99% (Anexo B22)

$$k_c = 0.814$$

Factor de temperatura (kd)²⁰

En este caso como no se va a trabajar con altas temperaturas se toma el valor de 1

$$k_d = 1$$

Factor de efectos varios (kf)

En este caso como el eje no tiene sección de estrechamiento consideramos

$$k_f = 1$$

¹⁷ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 4ta Edición, pág., 318, tabla 7-4

¹⁸ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 3ra Edición, pág., 313.

¹⁹ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 3ra Edición, pág., 319, tabla 7-7

²⁰ Diseño en Ingeniería Mecánica Joseph E. Shigley, 3ra Edición, pág., 321

Factor de reducción de la resistencia a la fatiga (k_e)

$$k_e = 1$$

El límite de resistencia a la fatiga (S_e), se calcula mediante la ecuación 2.41.

$$S_e = K_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S_e = 0.91(0.99)(0.81)(1)(1)(1)(200)$$

$$S_e = 145.94 \text{ Mpa}$$

Utilizando la ecuación 2.50 de Soderberg se tiene un factor de seguridad (n)

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{30.65}{(0.0077)^3} + \frac{196.18}{(0.0077)^3}} = \frac{1}{\frac{30.65}{145.94 * 10^6 N/m^2} + \frac{196.18}{399.62 * 10^6 N/m^2}}$$

$$n = 0.65$$

Podemos concluir que el diámetro calculado no cumple con el factor de seguridad de diseño a fatiga procedemos a asumir un diámetro cuyo valor sea el adecuado, probamos con:

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$n = \frac{1}{\frac{30.65}{(0.025)^3} + \frac{196.18}{(0.025)^3}} = \frac{1}{\frac{30.65}{145.94 * 10^6 N/m^2} + \frac{196.18}{399.62 * 10^6 N/m^2}}$$

$$n = 22.72$$

El factor de seguridad para diseño estático es recomendable así que se puede diseñar con este diámetro.

6.6.17.1 Selección de rodamientos para el eje C

El diseño se lo hace en el rodamiento que soporta mayor carga en este caso es en el punto A. Utilizando la ecuación 2.57 se tiene.

$$RA = \sqrt{RAY^2 + RAZ^2} \quad RA = \sqrt{(52.47)^2 + (14.02)^2}$$

$$RA = 54.31 \text{ N}$$

Se toma en cuenta el número de revoluciones del eje que es de 100 rpm, el número de horas de trabajo de la máquina $L_{10h}=25000$ (Anexo B17).

$$F_r = R_A = 54.31 \text{ N}$$

El comportamiento de un rodamiento está determinado por la carga dinámica la misma que se calculará con la ecuación 2.58.

$$P = X * Fr + Y * Fa$$

Dónde:

X: Factor radial 1

Y: Factor de empuje 0

Fr : Carga radial aplicada

Fa : Carga de empuje 0

Esta igualdad se produce ya que la carga axial (pesos de piñones, peso de cadena y pisón y eje) es despreciable en comparación a la carga real mostrada en la ecuación 2.59.

$$P = F_r$$

Para calcular la capacidad de carga estática de un rodamiento se utiliza la ecuación 2.60.

$$C_o = fs.P_o$$

Dónde:

C_o: Capacidad de carga estática (N).

P_o: Carga estática equivalente (N).

fs: Factor de esfuerzo estático.

$$fs = 1.5$$

$$C_o = (1.5). (54.31 \text{ N})$$

$$C_0 = 81.46 \text{ N}$$

La capacidad de carga dinámica requerida calculamos mediante la 2.61, entonces:

$$C = P^p \sqrt{\frac{L_{10h} * n * 60}{1000000 a_1 a_2}}$$

Dónde:

L_{10h} : Duración nominal en horas de servicio. (Anexo B17)

a_1 : Factor de ajuste de la duración, por fiabilidad.

a_{23} : Factor combinado de los factores a_2 y a_3 (para el material y la lubricación)

$p = 3$.Para rodamientos de bolas

$a_1 = 1$ Para una confiabilidad $R=90$ (Anexo B18)

Para obtener el factor a_{23} se utiliza el siguiente procedimiento:

Del catálogo SKF, (Anexo B19) un rodamiento con la designación 6005, con las siguientes dimensiones y capacidades: $C=14000$, $C_0 = 5950$, $d = 25 \text{ mm}$ $D = 52 \text{ mm}$, $B = 15\text{mm}$. Reemplazamos en la ecuación 2.62.

$$d_m = \frac{d + D}{2}$$

Dónde:

$$d_m = \frac{25 + 52}{2}$$

$$d_m = 38.5 \text{ mm}$$

La siguiente figura muestra la utilización de a aceite mineral con el valor de d_m , procedemos a calcular v_1 de la figura 6.21.

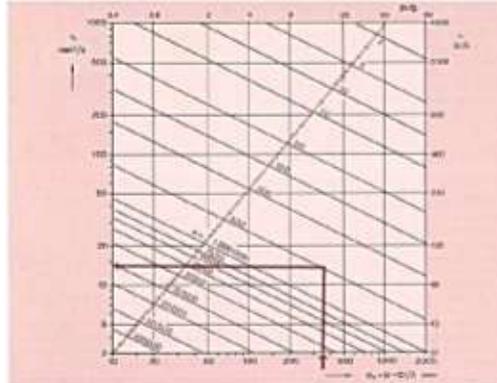


Figura 6.21 Diagrama para determinar v_1 .
FUENTE: [Catálogo SKF].

Dónde:

$$v_1 = 7 \text{ mm}^2/\text{seg}$$

Con una temperatura de 40°C y asumiendo un incremento de hasta 50°C de la figura 6.22 se obtiene v . Utilizando la ecuación 2.63, tenemos:

$$k = \frac{v}{v_1}$$

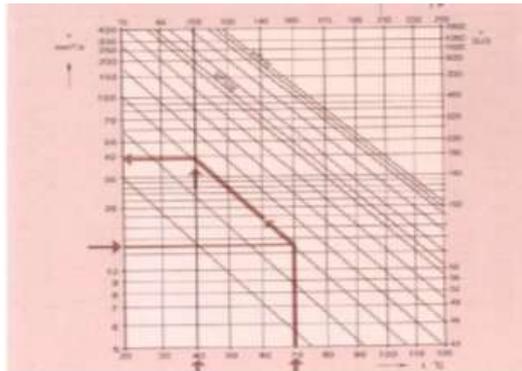


Figura 6.22 Diagrama para determinar v .
Fuente: [Catálogo SKF].

$$v = 14 \text{ mm}$$

$$k = \frac{v}{v_1}$$

$$k = \frac{14}{7} = 2$$

Y de la siguiente gráfica se obtiene a_{23}

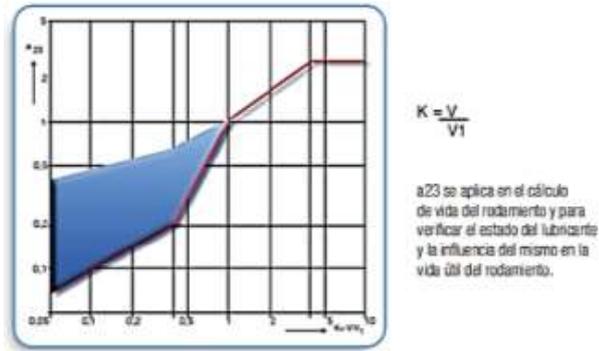


Figura 6.23 Diagrama para determinar a_{23}
Fuente: [Catálogo SKF].

Dónde $a_{23} = 2$ y Aplicando la ecuación 2.61, se calcula la capacidad de carga dinámica.

$$C = 54.31^3 \sqrt{\frac{25000 * 100 * 60}{1000000(1)(2)}}$$

$$C = 229.034 \text{ N}$$

Las condiciones óptimas de trabajo se puede evaluar de la siguiente manera:

$$C_{Oreq} \leq C_{Otab}$$

$$C_{req} \leq C_{tab}$$

El rodamiento seleccionado cumple con las condiciones requeridas, se nesitaran 2 rodamientos de este tipo para el eje C.

6.6.18 Análisis de esfuerzos en el eje A

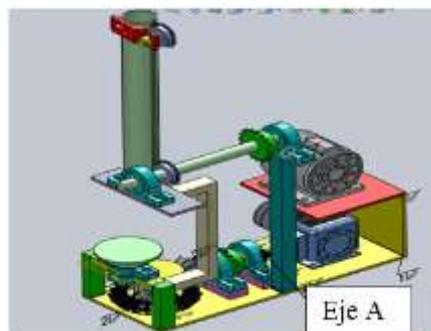


Figura 6.28 Esquema motriz eje A.
Fuente: Francisco Alcocer.

Diagrama de fuerzas

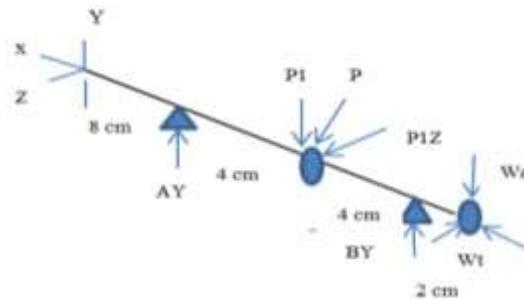


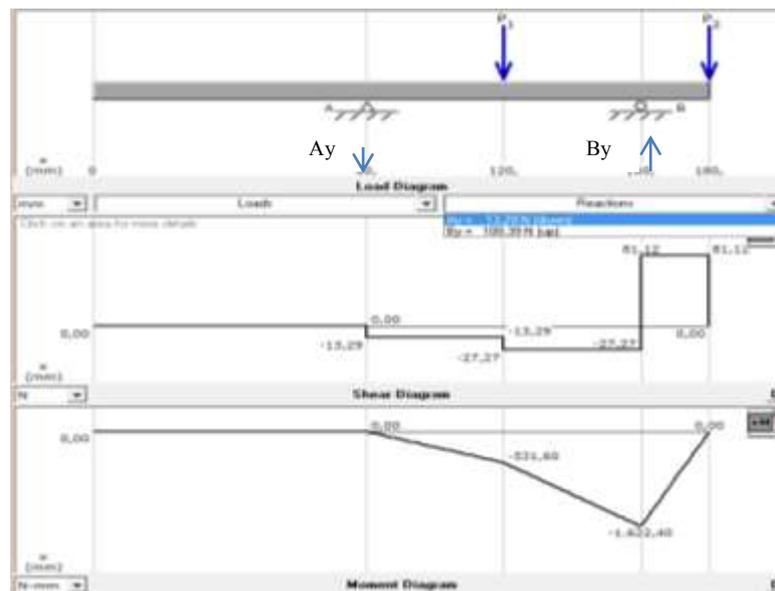
Figura 6.29 Diagrama de fuerzas en el eje A.
FUENTE: Francisco Alcocer.

Para el diseño del eje A descomponemos las fuerzas en los ejes y, z donde:

$$P1 = 27.95 \text{ N}, P1y = P3y \text{ sen } 30^\circ$$

$$P1y = 27.95 * \text{sen } 30^\circ = 13.98 \text{ N}$$

$$P1z = 27.95 * \text{cos } 60^\circ = 13.98 \text{ N}$$



EJE XY

Figura 6.30 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en el eje A.

Fuente: Francisco Alcocer.

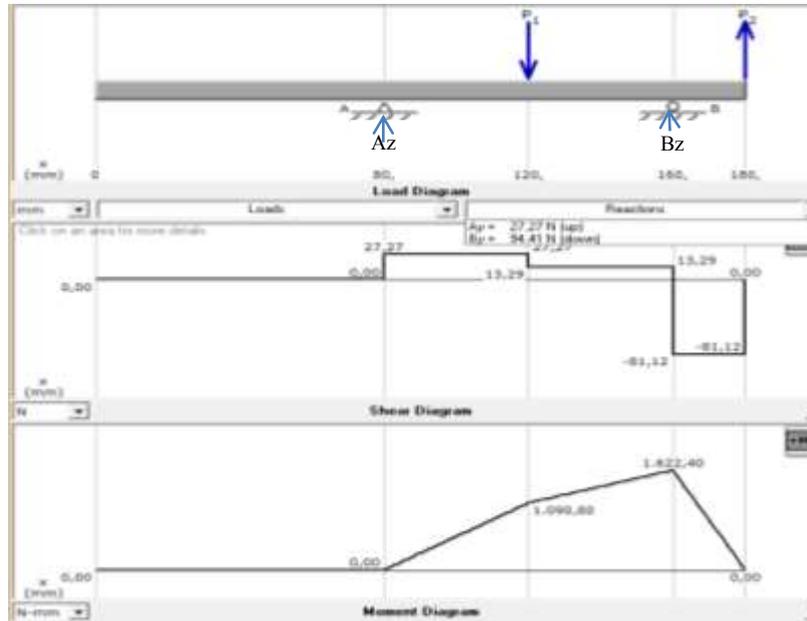
Donde se obtiene las siguientes reacciones:

$$Ay = -13.29 \text{ N}$$

$$B_y = 108.39 \text{ N}$$

$$M_y = -1622.40 \text{ N}$$

Se tiene la componente $F_z = P_1 = 13.98 \text{ N}$ que es provocado por la tensión de la cadena.



EJE XZ

Figura 6.31 Diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores en el eje A, eje XZ.

Fuente: Francisco Alcocer.

Donde se obtiene las siguientes reacciones:

$$A_z = 27.27 \text{ N}$$

$$B_z = -94.41 \text{ N}$$

$$M_z = 1622,40 \text{ N-mm}$$

Cálculo del Esfuerzo permisible del eje A

Diseño Estático²¹

Para el diseño del eje se construirá con una barra de acero 1018, tiene una resistencia a la fluencia tabulada de 32 kpsi y 25% de elongación, se toma en cuenta un diámetro de 28.5 mm.

²¹ De la tabla E -22 de Shyglyy 8^{va} Edición (Anexo B16)

De la ecuación 2.46 tenemos que:

$$\frac{I}{c} = \frac{\pi * d^3}{32} = 0.0982$$

Empleando la ecuación del esfuerzo máximo de tensión, con la ecuación 2.32 se tiene:

$$\sigma = \frac{M}{I/c}$$

Tomamos en cuenta el momento en el punto crítico.

Dónde:

M = Momento máximo = 1.62 N-m (14.37 lbf-pulg)

I/c = Inercia

σ = Esfuerzo Permisible

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{14.37}{0.0982 d^3}$$

Sustituyendo el esfuerzo del material seleccionado de Acero 1018, $S_y = 32000$ Psi, y $d = 28.5$ mm (1' 1/8 plg).

Tenemos:

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{14.37}{0.0982 (1.12)^3} = 104.15 \text{ Psi}$$

$$n_s = \frac{s_y}{\sigma} = \frac{32000}{288.13} = 307.24$$

Como se ve en el factor de seguridad provoca un sobredimensionamiento en el eje por lo que se puede justificar con el factor de seguridad a fatiga.

Diseño del eje a fatiga

Esfuerzos sometidos a flexión y torsión se dan por las ecuaciones 2.47 y 2.48 respectivamente, dónde:

$M_{P1} = 45.48$ lb-pul (5.13 N) Torque del piñón en el eje.

$M_P = 145.84 \text{ lb-pul (16.48 N)}$ Torque del piñón en la cadena.

$$M_{PT} = M_P + M_{P1}$$

$$M_{PT} = 5.13 + 16.48 = 21.61$$

$$M_{PT} = 21.61 \text{ N}$$

$$\sigma_a = \frac{32 * M}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_m = \frac{32 * M_{PT}}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_a = \frac{32 * 3.01}{\pi * d^3} = \frac{30.65}{d^3}$$

$$\sigma_m = \frac{32 * 21.61}{\pi * d^3} = \frac{220.11}{d^3}$$

Utilizamos el torque de 21.61 N-m que soporta el piñón de cadena y el piñón de engrane. Utilizando la ecuación 2.49 se tiene que:

$$\tau_m = \frac{16 * \tau}{\pi * d^3}$$

$$\tau_m = \frac{16 * 21.61}{\pi * d^3} = \frac{110}{d^3}$$

Los elementos de máquinas están sometidos a fatiga donde con la ecuación 2.35 se tiene:

$$S_{ut} = 400 \text{ Mpa}$$

Dónde:

S_e' = Límite de resistencia a la fatiga de la muestra en viga rotatoria

$$S_e' = 0.5(S_{ut})$$

$$S_e' = 0.5(400) = 200 \text{ Mpa}$$

Los factores modificados del límite de fatiga para el eje son:

Factor superficial (k_a)

Este factor depende del acabado que se realiza en la superficie donde se tiene:

De la tabla 6-2 Shigley (Anexo B 13)

Factor de acabado superficial k_a se obtienen los siguientes valores $a = 1.52$,

$$b = -0.085$$

$$k_a = aS_{ut}^b$$

$$k_a = 1.52 (400)^{-0.085}$$

$$k_a = 0.91$$

Factor de tamaño (k_b)

$$K_b = 0.879 d^{-0.107}$$

$$K_b = 0.879 (0.30)^{-0.107}$$

$$K_b = 0.99$$

Factor de confiabilidad (k_c) Tabla 6-5 (Anexo B14)

Para una confiabilidad del 99%

$$k_c = 0.814$$

Factor de temperatura (k_d)

En este caso como no se va a trabajar con altas temperaturas se toma el valor de 1

$$k_d = 1$$

Factor de efectos varios (k_f) (Anexo B15)

En este caso como el eje no tiene sección de estrechamiento consideramos

$$k_f = 1$$

Factor de reducción de la resistencia a la fatiga (k_e)

$$k_e = 1$$

El límite de resistencia a la fatiga (S_e), se calcula mediante la ecuación:

$$S_e = K_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S'_e$$

$$S_e = 0.91(0.99)(0.81)(1)(1)(1)(200)$$

$$S_e = 145.94 \text{ Mpa}$$

Utilizando la ecuación de Soderberg se tiene un factor de seguridad (n)

$$n = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y}}$$

Con el diámetro adquirido encontramos el factor de seguridad a fatiga.

$$d = 28.5 \text{ mm}$$

$$n = \frac{1}{\frac{\frac{30.65}{(0.0285)^3}}{145.94 * 10^6 \text{ N/m}^2} + \frac{\frac{220.11}{(0.0285)^3}}{399.62 * 10^6 \text{ N/m}^2}}$$

$$n = 20.74$$

El factor de seguridad para diseño estático es recomendable así que se puede diseñar con el diámetro de 28.5 mm.

6.6.18.1 Selección de rodamientos para el eje A

El diseño se lo hace en el rodamiento que soporta mayor carga en este caso es en los ejes XY. Empleando la ecuación 2.57 tenemos:

$$R_A = \sqrt{R_{Ay}^2 + R_{Az}^2}$$

$$R_A = \sqrt{(-13.29)^2 + (108.39)^2}$$

$$R_A = 109.20 \text{ N}$$

Se toma en cuenta el número de revoluciones del eje que es de 100 rpm, el número de horas de trabajo de la máquina $L_{10h} = 25000$ (Anexo B17).

$$F_r = R_A = 109.20 \text{ N}$$

El comportamiento de un rodamiento está determinado por la carga dinámica la misma que se calculará con la ecuación 2.58. Por lo que se tiene una carga netamente radial la ecuación 2.58 queda de la siguiente manera:

$$P = X * Fr + Y * Fa$$

Esta igualdad se produce ya que la carga axial (pesos de piñones, peso de cadena y pisón y eje) es despreciable en comparación a la carga real.

$$P = F_r$$

Para calcular la capacidad de carga estática de un rodamiento se utiliza la ecuación 2.59.

$$C_o = fs.$$

fs : Factor de esfuerzo estático

$$fs = 1.5$$

$$C_o = (1.5). (109.20 N)$$

$$C_o = 163.80 N$$

La capacidad de carga dinámica requerida calculamos mediante la ecuación 2.61 dónde:

$$C = P^p \sqrt{\frac{L_{10h} * n * 60}{1000000 a_1 a_2}}$$

Dónde:

L_{10h} : Duración nominal en horas de servicio.

a_1 : Factor de ajuste de la duración, por fiabilidad.

a_{23} : Factor combinado de los factores a_2 y a_3 (para el material y la lubricación)

$p = 3$. Para rodamientos de bolas

$a_1 = 1$ Para una confiabilidad $R = 90$

Para obtener el factor a_{23} se utiliza el siguiente procedimiento:

Del catálogo SKF,(Anexo B19) un rodamiento con la designación 16006, con las siguientes dimensiones y capacidades: $C = 11200, C_0 = 5850, d = 30 \text{ mm}$
 $D = 55 \text{ mm}, B = 9 \text{ mm}$.

De la ecuación 2.62 se tiene:

$$d_m = \frac{d + D}{2}$$

$$d_m = \frac{d + D}{2}$$

$$d_m = \frac{30 + 55}{2}$$

$$d_m = 42.5 \text{ mm}$$

La siguiente figura muestra la utilización de a aceite mineral con el valor de d_m , procedemos a calcular v_1 de la figura 6.21.

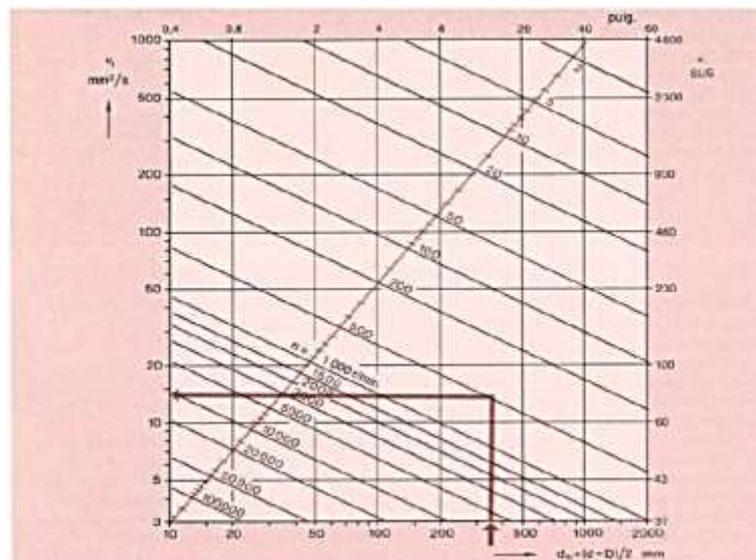


Figura 6.21 Diagrama para determinar v_1 .

Fuente: [Catálogo SKF].

Dónde:

$$v_1 = 8 \text{ mm}^2/\text{seg}$$

Con una temperatura de 40°C y asumiendo un incremento de hasta 50°C de la figura 6.22 se obtiene v .

$$k = \frac{v}{v_1}$$

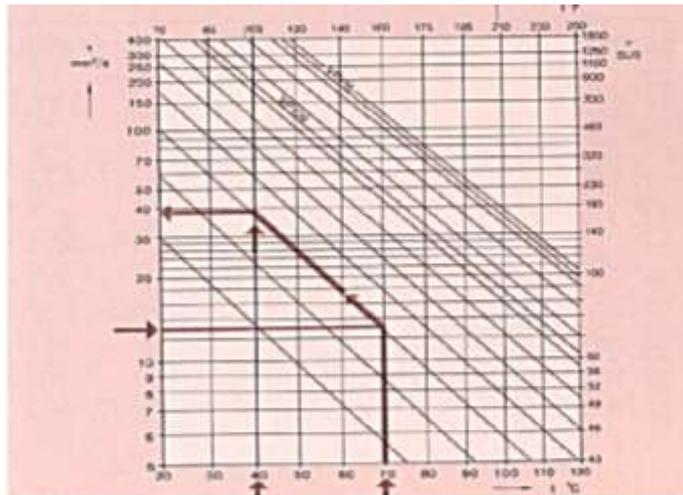


Figura 6.22 Diagrama para determinar v
Fuente: [Catálogo SKF]

$$v = 16 \text{ mm}^2/\text{s}$$

$$k = \frac{v}{v_1}$$

$$k = \frac{16}{8} = 2$$

Y de la siguiente gráfica se obtiene a_{23} .

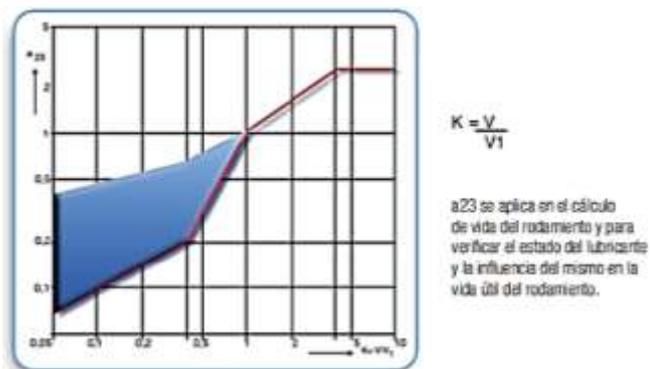


Figura 6.23 Diagrama para determinar a_{23}
Fuente: [Catálogo SKF]

Dónde $a_{23} = 2$, y Aplicando la ecuación 2.61, se calcula la capacidad de carga dinámica

$$C = 102.20^3 \sqrt{\frac{25000 * 100 * 60}{1000000(1)(2)}}$$

$$C = 430.99 \text{ N}$$

Las condiciones óptimas de trabajo se pueden evaluar de la siguiente manera:

$$C_{Oreq} \leq C_{Otab}$$

$$C_{req} \leq C_{tab}$$

De esta manera se selecciona un rodamiento rígido de bolas NTN (ANEXO B19.1 NTN) de cargas $C = 12.5 \text{ kN}$, y una chumacera (ANEXO B19.2) número P206 de 1 1/8 (28.5mm) de diámetro nominal para el eje.

6.6.19 Diseño del conjunto de engranes para el Eje A

Como muestra la figura 6.32, se necesita diseñar y posteriormente seleccionar un conjunto piñón - engrane que permita transmitir 8.27 kgf por lo que en este caso se procede a calcular las fuerzas en cada una de las componentes en el siguiente bosquejo. (Dimensiones en mm)

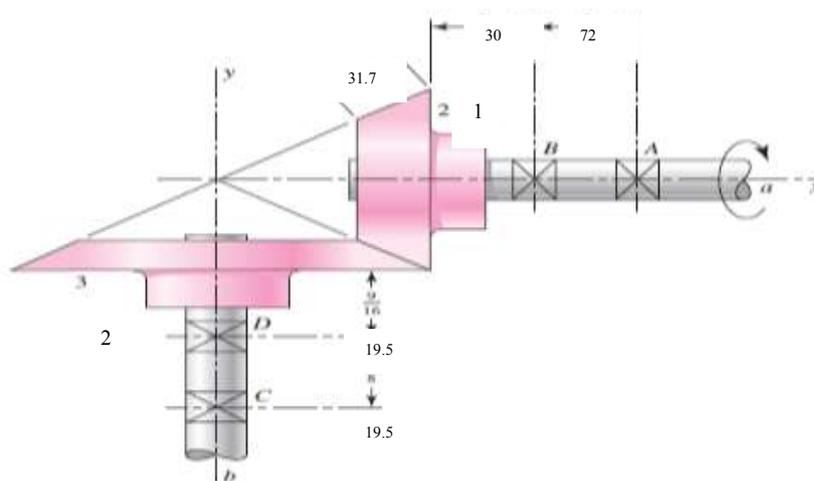


Figura 6.32 Dimensionamiento piñón- engrane

Fuente: Francisco Alcocer

Con base en un catálogo de engranes se puede analizar con un diametral pitch de 4 con 9 dientes para el piñón y para el engrane de 20 dientes.

Dónde:

El paso diametral del piñón y engrane se calcula con la siguiente ecuación 2.65

$$d_1 = \frac{N_P}{d_p}$$

Dónde:

$$d_1 = \frac{N_P}{d_p} = \frac{9}{3.46} = 2.60 \text{ pulg}$$

Reemplazando en la ecuación 2.66, se tiene que:

$$d_2 = \frac{N_G}{d_p}$$

$$d_2 = \frac{N_G}{d_p} = \frac{20}{6.92} = 2.89 \text{ pulg}$$

$$W^t = 8.27 \text{ kgf} = 81.12 \text{ N}$$

Diagrama de fuerzas

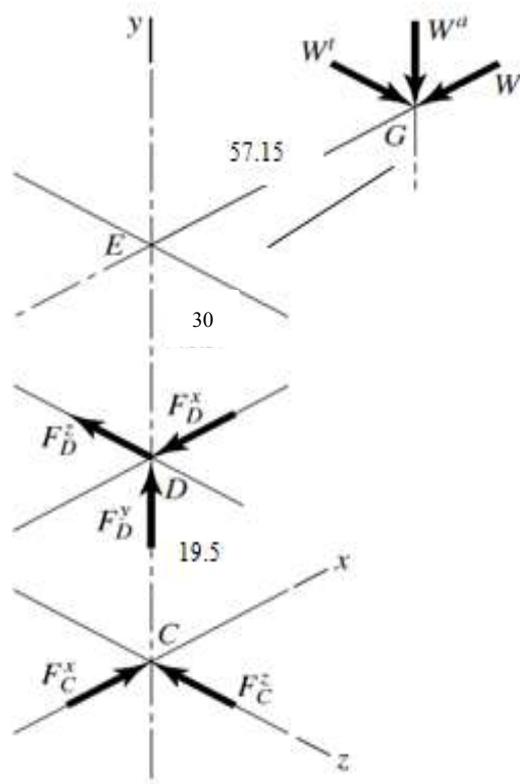


Figura 6.33 Diagrama de fuerzas piñón - engrane.

Fuente: Francisco Alcocer

El funcionamiento del conjunto de engranes cónicos es la base fundamental para el análisis de movimiento en la base del molde.

Se realiza un análisis vectorial del sistema de engranes para determinar la potencia del sistema mecánico, cuyo objetivo principal es entregar movimiento del piñón al engrane cónico.

$$\gamma = \tan^{-1}$$

$$\gamma = \tan^{-1} = \frac{28.575}{77.50} = 20.23^\circ \quad \Gamma = 69.76^\circ$$

Componente DE

$$DE = 69.76 + 27 \cos 69.76^\circ = 79.10 \text{ mm}$$

Con las ecuaciones 2.67 y 2.68 se calculan las componentes, respectivamente.

$$W^r = 8.27 \tan 20^\circ \cos 69.76^\circ = 1.04 \text{ kgf} = 10.21 \text{ N}$$

$$W^a = 8.27 \tan 20^\circ \sin 69.76^\circ = 2.82 \text{ kgf} = 27.70 \text{ N}$$

$$W = -1.04i - 2.82j + 8.27k$$

$$R_{DG} = 46.50j + 57.15 i$$

$$R_{DC} = -19.5 j$$

$$\sum M_D = R_{DG} * W + R_{DC} * F_C + T = 0$$

Resuelvo el producto cruz

$$R_{DG} * W = 384.55i - 472.63j - 91.42 k$$

$$R_{DC} * F_C = -19.5 F_C^Z i + 19.5 F_C^X K$$

El torque del engrane se calcula con la ecuación 2.69, de la siguiente forma:

$$T = W^t * \frac{d_2}{2}$$

$$T = 8.27 \text{ kgf} * \frac{5}{2} \text{ pulg}$$

$$T = 45.48 \text{ lb-pulg}$$

$$F_C = 4.68i + 19.72k$$

$$F_C = (4.68^2 + 19.72^2)^{\frac{1}{2}} = 20.26 \text{ kgf}$$

$$\sum F = 0$$

$$F_D = -3.34i + 2.69j - 27.99k \text{ kgf}$$

$$F_{D(\text{radial})} = [(-3.34)^2 + (-27.99)^2]^{\frac{1}{2}} = 28.18 \text{ kgf}$$

$$F_{D(\text{Axial})} = W^a = 2.69 \text{ kgf.}$$

Diseñamos un acoplamiento de un engrane cónico recto con el propósito de entregar 1 hp a 100 rpm con una relación de engranes de 2:1, temperatura ambiente, un ángulo normal de presión de 20° y un factor de diseño de 2, el número de dientes del piñón es de 9 ,que irá acoplado a uno de 20. El material es AGMA grado 1 (Anexo B20), y los dientes estarán coronados. La meta de confiabilidad será de 0.995 con una vida del piñón de 10⁹ revoluciones.

La función a realizar 1hp a 100 rpm, relación de engranes $mG = 2$, entorno de trabajo 77° F, ningún engrane montado separado $k_{mb} = 1.25$ (Ecuación 2.70) $R = 0.995$ a 10⁹ revoluciones del piñón.

Mediante la ecuación 2.71 calculamos el factor de ciclos de esfuerzos de resistencia a la picadura:

$$(C_L)_G = 3.4822(10^9/2)^{-0.0602} = 1.04$$

$$(C_L)_P = 3.4822(10^9/2)^{-0.0602} = 1.00$$

Con la ecuación 2.72 se calcula el factor de ciclos de esfuerzos de resistencia a la flexión:

$$(K_L)_G = 1.683(10^9/2)^{-0.0323} = 0.881$$

$$(K_L)_P = 1.683(10^9)^{-0.0323} = 0.8618$$

Con la ecuación 2.73 calculamos el factor de confiabilidad $C_R(Z_Z)$ y $K_R(Y_Z)$.

$$K_R = 0.50 - 0.25 \log(1 - R) \text{ de entre } 0.99 \leq R \leq 0.999$$

$$K_R = 0.50 - 0.25 \log(1 - 0.995) = 1.075$$

$$C_R = \sqrt{K_R} = \sqrt{1.075} = 1.037$$

El factor de temperatura $K_T = 1$, temperatura ambiente.

$$\text{Factor de dise\u00f1o: } n_d = 2, S_F = 2, S_H = \sqrt{2} = 1.414.$$

Sistema de dientes: coronados ,engranes c\u00f3nicos rectos, \u00e1ngulo normal de presi\u00f3n de 20° . Utilizamos el factor de curvatura en el sentido longitudinal de resistencia a la flexi\u00f3n mediante la ecuaci\u00f3n 2.74, d\u00f3nde:

$$K_X = 1$$

Se calcula el factor de coronamiento por picadura C_{XC} , mediante la ecuaci\u00f3n 2.75.

$$C_{XC} = 1.5$$

Con $N_P = 9$ dientes, $N_G = 20$ dientes y de la figura 15-14²²

Utilizando la ecuaci\u00f3n 2.68 tenemos que:

$$\gamma = \tan^{-1}(N_P/N_G) = \tan^{-1}(9/20) = 24.22^\circ$$

$$\Gamma = \tan^{-1}(20/9) = 65.77^\circ$$

De las figuras²³ 15-6 y 15.7 (Anexo B21-B22) del libro de Shyglyey se tiene:

$$I = 0.0625, J_p = 0.16, J_G = 0.223, J_p < J_G.$$

Paso diametral asumido $P_d = 2.6$ dientes/pulg

De la ecuaci\u00f3n 2.76 se calcula el factor de tama\u00f1o por flexi\u00f3n K_s

$$K_s = 0.4867 + 0.2132/2 = 0.5933$$

$$d_p = N_P/P_d = 9/2.6 = 3.46 \text{ pulg}$$

²² Desgaste de engrane c\u00f3nico recto, Shyglyey 9^{na} Edici\u00f3n, p\u00e1g 771.

²³ Factor de contacto geom\u00e9trico $I(ZI)$ de engranes c\u00f3nicos rectos, Shyglyey 9^{na} Edici\u00f3n, p\u00e1g 764.

$$d_G = 3.46(2) = 6.92 \text{ pulg}$$

$$v_t = \pi d_p n_p / 12 = \pi(3.46)(100) / 12 = 90.58 \text{ pies/min}$$

$$w^t = 33000hp/v_t = 33000 * 1/90.58 = 364 \text{ lbf}$$

La distancia del cono se determina a partir de la ecuación 2.77, dónde:

$$w^t = 33000hp/v_t = 33000 * 1/90.58 = 364 \text{ lbf}$$

$$A_0 = d_p(2 \text{ sen } \gamma) = 3.46/(2 \text{ sen } 24.22^\circ) = 4.21 \text{ pulg}$$

El ancho de cara se describe con la ecuación 2.78, dónde:

$$F = \min(0.3A_0, 10/P_d) = \min(0.3(4.21), 10/2.6) = \min(1.26, 3.84)$$

Se calcula con $F = 1.26$ pulg, entonces con la ecuación 2.79, se calcula el factor de tamaño por resistencia a picadura:

$$C_S = 0.125F + 0.4375, \text{ cuando } 0.5 \leq F \leq 4.5 \text{ pulg}$$

$$C_S = 0.125(1.26) + 0.4375 = 0.595$$

Con la ecuación 2.80, calculamos la distribución de carga K_m .

$$K_m = K_{mb} + 0.0036(F)^2$$

$$K_m = 1.25 + 0.0036(1.26)^2 = 1.255$$

El número de precisión de transmisión igual a 6, de la ecuación 2.81, se tiene:

$$B = 0.25(12 - Q_v)^{2/3}$$

$$B = 0.25(12 - 6)^{2/3} = 0.8255$$

$$A = 50 + 56(1 - 0.8255) = 59.77$$

Los ajustes²⁴ de la curva K_v , (Anexo B25) se relacionan con el factor dinámico en la ecuación 2.81.

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{v_t}}{A} \right)^B$$

²⁴ Factor dinámico K_v , Figura 15-5, Shygley 9^{na} edición, pág 762.

$$K_v = \left(\frac{59.77 + \sqrt{90.58}}{59.77} \right)^{0.8255} = 1.129$$

El material y tratamiento del piñón y la corona. Endurecido por flama o inducción
Acero ASTM 1210 ,grado 1.

Núcleo 20 HRC (HB 223 Brinell)

Superficie 50HRC(HB 500 Brinell)

De la tabla 15-4 (Anexo B23) del libro de shygley ²⁵ $S_{ac} = 175000 \text{ psi}$, y de la
tabla 15-6 $S_{at} = 15000 \text{ psi}$. (Anexo B24)

Flexión de la corona: De la ecuación 2.82 el esfuerzo de flexión es:

$$(S_t)_G = \frac{W^t}{F} P_d K_o K_v \frac{K_S K_m}{K_x J_G}$$

$$(S_t)_G = \frac{374}{1.26} (2.6)(1)(1.129) \frac{0.5933(1.255)}{1(0.223)} = 2909.25 \text{ psi}$$

De la ecuación 2.83, el esfuerzo de flexión permisible es:

$$(S_{wt})_G = \left(\frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R} \right)_G = \frac{15000(0.881)}{2(1)(1.075)} = 6146.51 \text{ psi}$$

La resistencia exede al esfuerzo por un factor de $6146.51/2909.25 = 2.11$, lo que
proporciona un factor real de seguridad de $(SF)_G = 2 (2.11) = 4.22$.

Resistencia del piñón: La resistencia a la flexión se puede obtener a partir de la
ecuación 2.84 , dónde:

$$(S_t)_P = (S_t)_G \frac{J_G}{J_P} = 6146.51 \frac{0.223}{0.16} = 8566 \text{ psi}$$

La resistencia a la flexión, nuevamente de la ecuación 2.83 se tiene:

$$(S_{wt})_P = \left(\frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R} \right)_P = \frac{15000(0.8618)}{2(1)(1.075)} = 6012.558 \text{ psi}$$

²⁵ Número de esfuerzo de contaco permisible de los engranes de acero, Shygley 9^{na} Edición, pág
768.

La resistencia no excede al esfuerzo por lo que: $6012.558/8566 = 0.70$, proporcionando un factor real de seguridad de:

$$(SF)_p = 2 (0.70) = 1.40.$$

Desgaste en la corona (Anexo B 25.1). El esfuerzo inducido por la cara del piñón y la corona, se calcula con la ecuación 2.84, donde:

$$S_c = \sigma_c = C_P \left(\frac{W^t}{F d_p I} K_0 K_v K_m C_s C_{xc} \right)^{1/2}$$

$$S_c = 2290 \left(\frac{374}{1.26(3.46)(0.0625)} (1)(1.129)(1.229)(0.595)(1.5) \right)^{1/2}$$

$$S_c = 94413.69 \text{ psi}$$

De la ecuación 2.85, la resistencia al contacto de la corona es:

$$(S_{wc})_G = \left(\frac{S_{ac} C_L C_H}{S_H K_T C_R} \right)_G = \left(\frac{175000(1.04)(1)}{\sqrt{2}(1)(1.037)} \right) = 124101.67 \text{ psi}$$

La resistencia excede al esfuerzo por un factor de $124101.67/94413.69 = 1.314$, lo que proporciona un factor real de seguridad de: $(S_H)_G^2 = 1.314^2(2) = 3.45$

Desgaste del piñón:

$$(S_{wc})_P = \left(\frac{S_{ac} C_L C_H}{S_H K_T C_R} \right)_P = \left(\frac{175000(1)(1)}{\sqrt{2}(1)(1.037)} \right) = 119328.53 \text{ psi}$$

La resistencia excede al esfuerzo por un factor de $124101.67/119328.53 = 1.039$, lo que proporciona un factor real de seguridad de: $(S_H)_P^2 = 1.039^2(2) = 2.15$, como se observa el objetivo de diseño es bueno ya que los factores de seguridad son mayores a 2 por lo que es aceptable en diseño mecánico.

6.6.20 Diseño de la viga B por Fluencia

En la figura 6.34 se tiene el eje empotrado que servirá como guía del engrane.

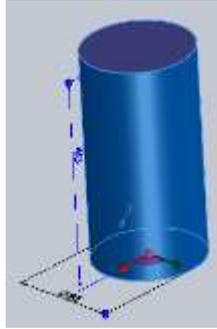


Figura 6.34 Dimensiones del eje B.

Fuente: Francisco Alcocer.

De un acero 1018(Anexo B32) se maquina hasta el diámetro de 35 mm donde:

$$I = 1.91 \text{ cm}^4, A = 4.90 \text{ cm}^2, C = 2$$

$$F_a = 29.43 \text{ N}$$

El esfuerzo axial lo encontramos aplicando la ecuación 2.32.

$$\sigma_a = \frac{29.43}{4.9 * 10^{-4}} = 60.061 \text{ Kpa}$$

Con un factor de seguridad de 4 encontramos el S_y del material, con la ecuación 2.34 tenemos:

$$S_y = \frac{\sigma_a}{n} = \frac{60.061}{4} = 15.01 \text{ Kpa}$$

Donde en este caso $S_y = F_p$ Carga de servicio se sabe que es mucho menor que la carga admisible y se considera como una columna corta.

6.6.20.1 Selección de rodamiento para el eje B

En este caso el se deberá seleccionar un rodamiento que soporte la máxima carga radial de 29.43 N aplicada a la viga B, se toma en cuenta el número de revoluciones del engrane que es de 40 rpm, el número de horas de trabajo de la máquina $L_{10h}=25000$ (Anexo B17).

$$F_r = R_A = 29.43 \text{ N}$$

El comportamiento de un rodamiento está determinado por la carga dinámica la misma que se calculará con la ecuación 2.58.

$$P = X * Fr + Y * Fa$$

Dónde:

X: Factor radial 1

Y: Factor de empuje 0

Fr : Carga radial aplicada

F_a : Carga de empuje 0

$$P = F_r$$

Esta igualdad se produce ya que la carga axial del peso del piñón, es despreciable en comparación a la carga real mostrada en la ecuación 2.59.

Para calcular la capacidad de carga estática de un rodamiento se utiliza la ecuación 2.60.

$$C_o = fs.P_o$$

Dónde:

C_o: Capacidad de carga estática (N).

P_o: Carga estática equivalente (N).

fs: Factor de esfuerzo estático.

$$fs = 1.5$$

$$C_o = (1.5). (29.43N)$$

$$C_o = 44.145 N$$

La capacidad de carga dinámica requerida calculamos mediante la ecuación 2.61.

Entonces se tiene:

$$C = P^P \sqrt{\frac{L_{10h} * n * 60}{1000000 a_1 a_1}}$$

Dónde:

L_{10h} : Duración nominal en horas de servicio. (Anexo B17)

a_1 : Factor de ajuste de la duración, por fiabilidad

a_{23} : Factor combinado de los factores a_2 y a_3 (para el material y la lubricación)

$p = 3$.Para rodamientos de bolas

$a_1 = 1$ Para una confiabilidad $R=90$ (Anexo B18)

Para obtener el factor a_{23} se utiliza el siguiente procedimiento:

Del catálogo SKF, (Anexo B19) un rodamiento con la designación 16007, con las siguientes dimensiones y capacidades: $C=14000$, $C_0 = 5950$, $d = 35$ mm $D = 62$ mm, $B = 9$ mm. Reemplazamos en la ecuación 2.62.

$$d_m = \frac{d + D}{2}$$

Dónde:

$$d_m = \frac{35 + 62}{2}$$

$$d_m = 48.5 \text{ mm}$$

La siguiente figura muestra la utilización de a aceite mineral con el valor de d_m , procedemos a calcular v_1 de la figura 6.25:

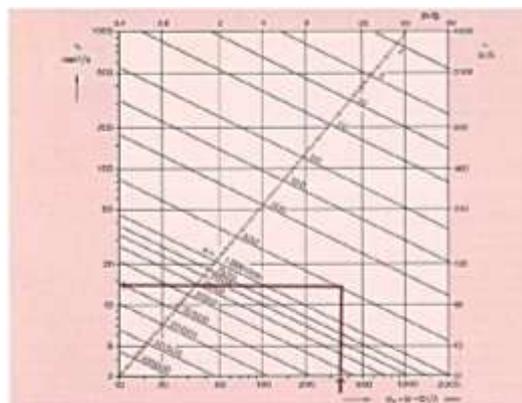


Figura 6.21 Diagrama para determinar v_1 .
FUENTE: [Catálogo SKF].

Dónde:

$$v_1 = 6 \text{ mm}^2/\text{seg}$$

Con una temperatura de 40°C y asumiendo un incremento de hasta 50°C de la figura 6.11 se obtiene v . Utilizando la ecuación 2.63, tenemos:

$$k = \frac{v}{v_1}$$

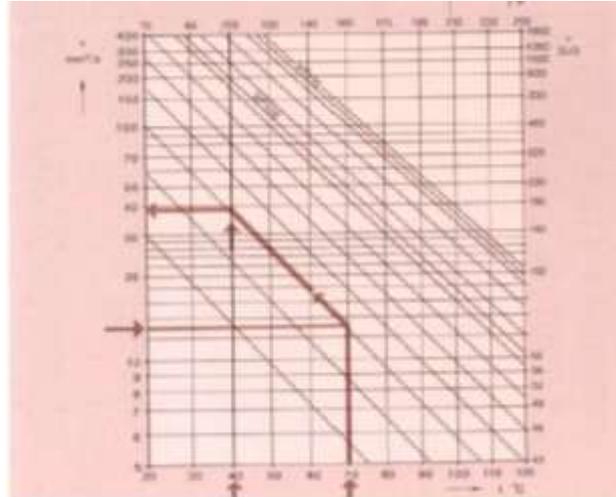


Figura 6.22 Diagrama para determinar v .
Fuente: [Catálogo SKF].

$$v = 12 \text{ mm}$$

$$k = \frac{v}{v_1}$$

$$k = \frac{12}{6} = 2$$

Y de la siguiente gráfica se obtiene a_{23}

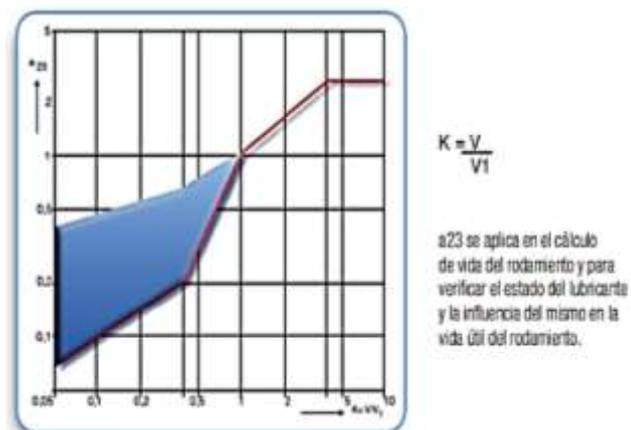


Figura 6.23 Diagrama para determinar a_{23}
Fuente: [Catálogo SKF].

Dónde $a_{23} = 2$ y Aplicando la ecuación 2.61, se calcula la capacidad de carga dinámica.

$$C = 29.43^3 \sqrt{\frac{25000 * 40 * 60}{1000000(1)(2)}}$$

$$C = 91.44 \text{ N}$$

Las condiciones óptimas de trabajo se puede evaluar de la siguiente manera:

$$C_{Oreq} \leq C_{Otab}$$

$$C_{req} \leq C_{tab}$$

El rodamiento seleccionado cumple con las condiciones requeridas, se necesitaran 1 rodamientos de este tipo para la viga B.

Análisis por pandeo de eje D



Figura 6.35 Eje D.
Fuente: Francisco Alcocer.

Como muestra la figura 6.36, el eje está empotrado en un extremo y libre en el otro, se aplica una carga axial y en la sección, donde descomponiendo las fuerzas que actúan tenemos:

Conocemos la tensión de la cadena el piñón que es de 1.403 Kgf.

$$P1_x = 1.403 * \cos 30^\circ = 1.21 \text{ kgf}$$

$$P1_y = 1.403 * \sen 60^\circ = 1.21 \text{ kgf}$$

$$P1 = 11,87 \text{ N}$$

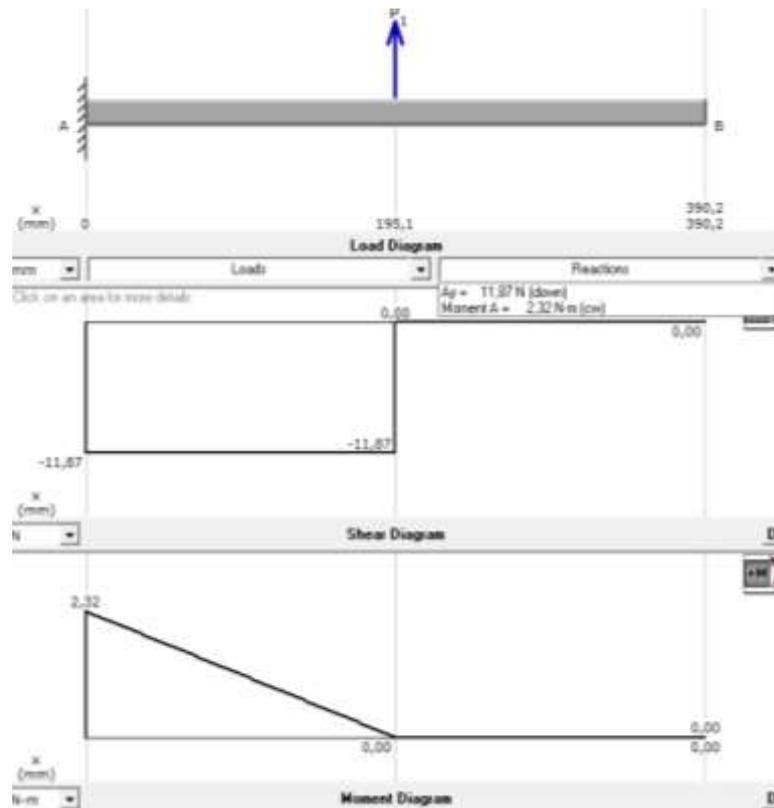


Figura 6.36 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el eje D
Fuente: Francisco Alcocer.

$$A_y = 11.87 \text{ N}$$

$$M_A = 2.32 \text{ N-m}$$

El esfuerzo flexionante y axial lo encontramos aplicando la ecuación 2.47.

$$\sigma_{Flexión} = \frac{6 * 2.32 \text{ Nm}}{bh^2}$$

$$\sigma_{Flexión} = \frac{13.92 \text{ Nm}}{bh^2}$$

Mediante la utilización de la ecuación 2.48 tenemos:

$$\sigma_{Axial} = \frac{47.18 \text{ N}}{bh}$$

El esfuerzo calculado con la ecuación 2.44 es:

$$\sigma_{eq} = \sigma_a = \sqrt{\left(\frac{2.32 \text{ Nm}}{0.0123 \text{ m}^3} + \frac{47.18 \text{ N}}{6 * 10^{-4} \text{ m}^2}\right)^2}$$

Reemplazando en la ecuación 2.34 se tiene:

$$\frac{13.92 \text{ Nm}}{bh^2} + \frac{47.18 \text{ N}}{bh} = \frac{Sy}{n}$$

Asumiendo un factor de seguridad de 30 y si se toma una placa de $h = 0.029 \text{ m}$. Se nota que el factor de seguridad es alto, considerando que existirá un sobredimensionamiento en el elemento se toma en cuenta el valor requerido que servirá de la placa y luego se justificará con la deflexión de la misma.

Tenemos que:

$$\frac{22272 \text{ Nm}}{b} + \frac{75488 \text{ N}}{b} = \frac{247.79 \text{ Mpa}}{30}$$

Despejando b se tiene:

$$b = 0.0118 \text{ m} \cong 12 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la deflexión en una viga en voladizo se calcula con la ecuación 2.45 dónde:

$$Y_{max} = -\frac{F * a^3}{6 * E * I} (a - 3l)$$

Dónde:

Y_{max} = Deflexión máxima en voladizo con carga intermedia

l = Longitud del eje

$$Y_{max} = -\frac{1.21 \text{ kgf} * (0.195)^2}{6 * 2.10^{11} * 1.72 * 10^{-9}} (0.195 - 3(0.390))$$

$$Y_{max} = -2.17 * 10^{-5}$$

$$Y_{max} = -0.021 \text{ mm}$$

Con el resultado obtenido se concluye que la deflexión es insignificante por lo que se puede seleccionar una barra robusta de 0.029 x 0.029 m (1 1/8) (Anexo B34).

6.6.21 Cálculo de la chaveta y chavetero

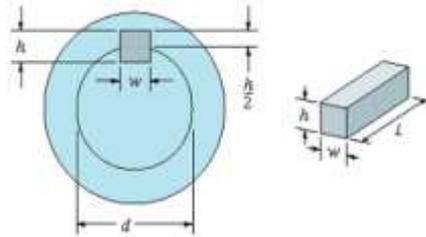


Figura 6.37 Chavetas rectangulares o paralelepípedos.

Las chavetas son piezas mecánicas que se usan para sujetar poleas y engranes en cada uno de los ejes, la potencia se describe a continuación en la ecuación 2.102.

$$P = F_{chaveta} * r_{eje} * w$$

Dónde :

$F_{chaveta}$: Fuerza tangencial en la superficie del eje

w : Velocidad angular (rad/seg)

Dónde:

$$P = 1hp = 76,05 \text{ kgf} \frac{m}{seg}$$

$$n = 100 \frac{rev}{min} = 10.47 \frac{rad}{seg}$$

$$P = T * n$$

La fuerza ejercida sobre los elementos se calcula despejando de la ecuación 2.102.

$$F_{chaveta} = \frac{76,05 \text{ kgf} \frac{m}{seg}}{0.006m * 10.47 \frac{rad}{seg}} = 121.060 \text{ kgf}$$

Material de la chaveta, acero A36 = 36 Kpsi = 25.31 kg/mm²

$$S_{sy} = 0.577 * S_{sy_{chaveta}}$$

$$S_{sy} = 14.60 \text{ Kg/mm}^2$$

Análisis de la chaveta a corte, Se reemplaza en la ecuación 2.104 y se tiene que:

$$\tau_{diseño} = \frac{F_{chaveta}}{Ac}$$

Con la ecuación 2.103 calculamos la longitud de la chaveta:

$$l = \frac{121.060 \text{ Kgf} * 10}{5 * 14.60 \text{ kg/mm}^2}$$

$$l = 16 \text{ mm}$$

Con una chaveta de 16 mm será suficiente.

Cálculo del chavetero a aplastamiento

Para el cálculo se utiliza la ecuación 2.105, por lo que a continuación se tiene:

$$\sigma_{aplas} = \frac{p}{b.L} \leq [\sigma_{aplas}]$$

El material del eje es SAE 1018

$$S_Y = 370 \text{ MN/m}^2 = 37.72 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$[\sigma_{aplas}] = 0.9S_Y = 33.72 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Reemplazando en la ecuación 2.103, calculamos la longitud del chavetero:

$$l = \frac{121.060 \text{ Kgf} * 10}{2.5 * 33.72 \text{ kg/mm}^2}$$

$$l = \frac{121.060 \text{ Kgf} * 10}{2.5 * 33.72 \text{ kg/mm}^2}$$

$$l = 14.36 \text{ mm}$$

Con una chaveta de 15 mm no falla la chaveta ni el chavetero.

6.6.22 Selección del tubo guía para el pisón

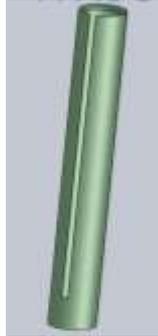


Figura 6.38 Tubo guía para el pisón.
Fuente: [Catálogo DIPAC].

De un catálogo se selecciona un tubo de diámetro interno de 2 pulgadas ASTM A-53 GLB que servirá como guía al pisón de diámetro 50.8 mm, a este tubo se abrirá un destaje de 8mm para que el gancho de cadena ingrese al pisón que también estará con un gancho. Este tubo irá unido a una estructura soldada en la base como muestra la figura 6.39. (Anexo B31).

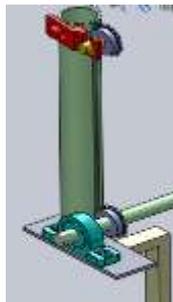


Figura. 6.39 Tubo guía con piñones de cadena.
Fuente: Francisco Alcocer

6.6.23 Análisis de esfuerzos en la viga D que sostiene el tubo

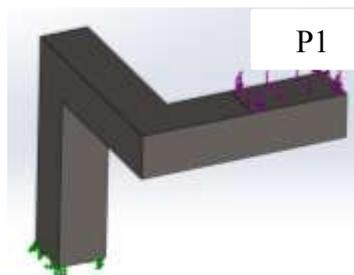


Figura 6.40 Análisis de fuerzas en la viga del apoyo D
Fuente:Francisco Alcocer

Tenemos como dato el peso del tubo que es de 2.25 kg el peso del pisón es de 2.50 kg, de la cadena de 2.10 kg, más el de la chumacera de 1.80 y el eje de 3.01 kg obteniendo un total de 11.66 kg, como muestra la figura 6.40. $W_1 = 114.38 \text{ N-mm}$.

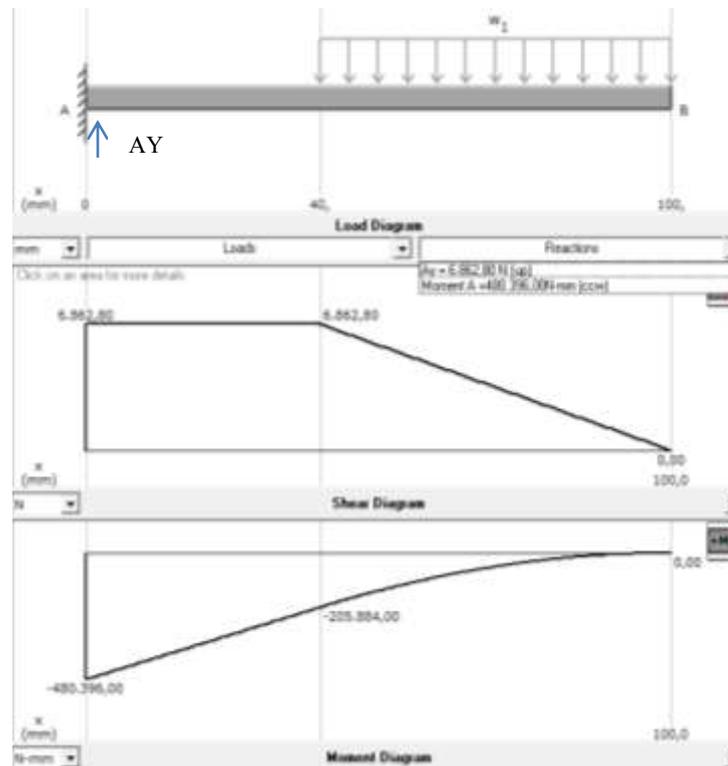


Figura 6.41 Diagrama de momentos en la viga del apoyo D
Fuente:Francisco Alcocer

Dónde:

$$A_y = 6862.80 \text{ N}$$

$$M_{\max} = 480396 \text{ N-mm}$$

Tomamos un eje cuadrado de acero comercial ASTM A-36, de 30 x 30 cm ,reemplazando en la ecuación 2.47 se tiene:

$$\sigma_{\text{Flexión}} = \frac{6 * 480.39 \text{ Nm}}{bh^2}$$

$$\sigma_{\text{Flexión}} = \frac{2883.37 \text{ Nm}}{bh^2}$$

Reemplazando en la ecuación 2.34 se calcula el factor de seguridad:

$$\frac{2883.37 \text{ Nm}}{bh^2} = \frac{Sy}{n}$$

$$n = 2.32$$

Con un factor de seguridad de 2.32, se toma una placa de $h = 0.030 \times 0.030$ m, el valor requerido que servirá para el apoyo del tubo se justificará con la deflexión de la misma (Anexo B31).

Para el cálculo de la deflexión en una viga en voladizo con carga intermedia se calcula con la ecuación 2.106 donde:

$$Y_{\max} = -\frac{F * a^2}{6 * E * I} (a - 3l)$$

Dónde:

Y_{\max} = Deflexión máxima en voladizo con carga intermedia

l = Longitud del eje

$$Y_{\max} = -\frac{11.66 \text{ kgf} * (0.100)^2}{6 * 2 * 10^{11} * 1.72 * 10^{-9}} (0.100 - 3(0.40))$$

$$Y_{\max} = -6.21 * 10^{-5}$$

$$Y_{\max} = -0.062 \text{ mm}$$

6.6.24 Análisis de esfuerzos en la placa base del motor

El motor se montará en una base de platina en la parte superior la base irá empotrada en donde se puede apreciar la fuerza del motor.

$P1 = 100.06$ N en la figura 6.46.

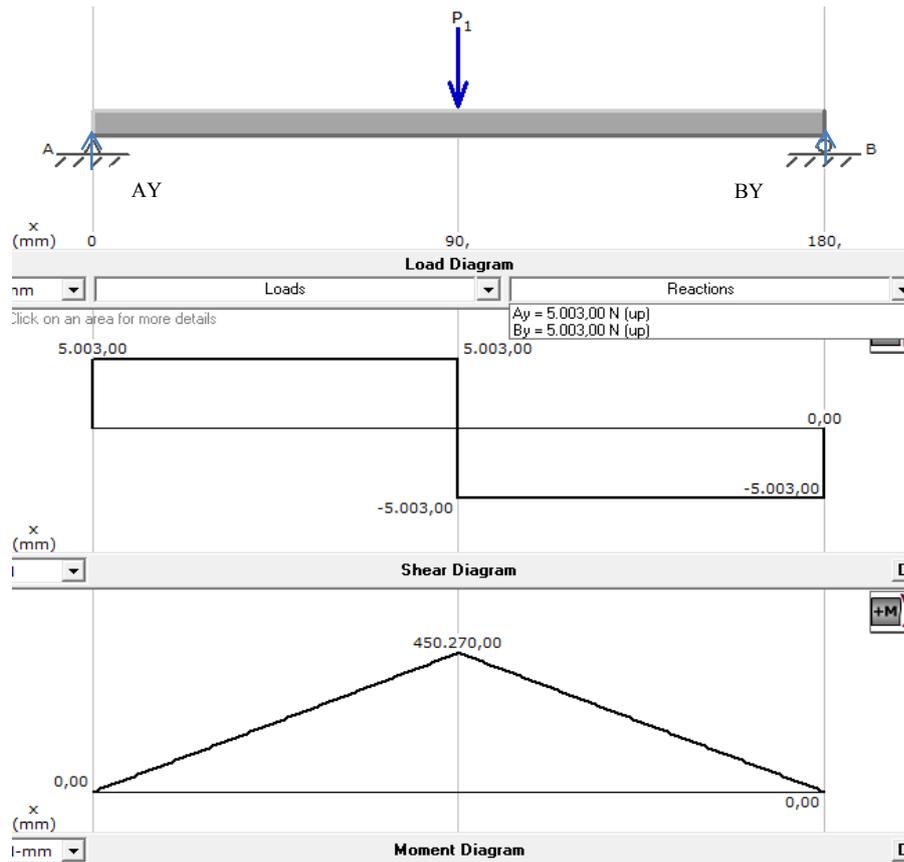


Figura 6.42 Diagrama de fuerza cortante y momento flector, placa base.
Fuente: Francisco Alcocer.

$$A_y = 5003 \text{ N}$$

$$B_y = 5003 \text{ N}$$

$$M_{max} = 450.27 \text{ N}$$

El esfuerzo flexionante encontramos aplicando la ecuación 2.43

$$\sigma_{Flexión} = \frac{6 * 450.27 \text{ Nm}}{bh^2}$$

$$\sigma_{Flexión} = \frac{2701.62 \text{ Nm}}{bh^2}$$

Reemplazando en la ecuación 2.34 se tiene:

$$\frac{2701.62 \text{ Nm}}{bh^2} = \frac{S_y}{n}$$

Assumiendo un factor de seguridad de 4 y si se toma una placa de $h = 0.08 \text{ m}$, tenemos que:

$$\frac{422128.12 \text{ N}}{b} = \frac{247.79 \text{ Mpa}}{4}$$

Despejando b se tiene:

$$b = 0.0068 \text{ m} \cong 7 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la deflexión en una viga con carga central se calcula con la ecuación 2.45 donde para este caso se tiene que:

$$Y_{\max} = -\frac{F * a^3}{48 * E * I}$$

Dónde:

Y_{\max} = Deflexión máxima con carga intermedia

l = Longitud de la placa

$$Y_{\max} = -\frac{10.19 \text{ kgf} * (0.18)^3}{48 * 2 * 10^{11} * 1.72 * 10^{-9}}$$

$$Y_{\max} = -3.599 * 10^{-6}$$

$$Y_{\max} = -3.599 * 10^{-3} \text{ mm}$$

Con el resultado obtenido se concluye que la deflexión es insignificante por lo que se selecciona una placa de 7 mm de espesor del catálogo Dipac. (Anexo B35).

6.6.25 Análisis de esfuerzos en el pin de la rueda impulsora

Como dato tenemos la fuerza de empuje aplicada al pin de la rueda que guía al piñón de cadena conectado al molde de compactación donde:

Material del pin SAE 1018 $S_y = 370 \text{ Mpa}$

$$P1 = 1.23 \text{ N}$$

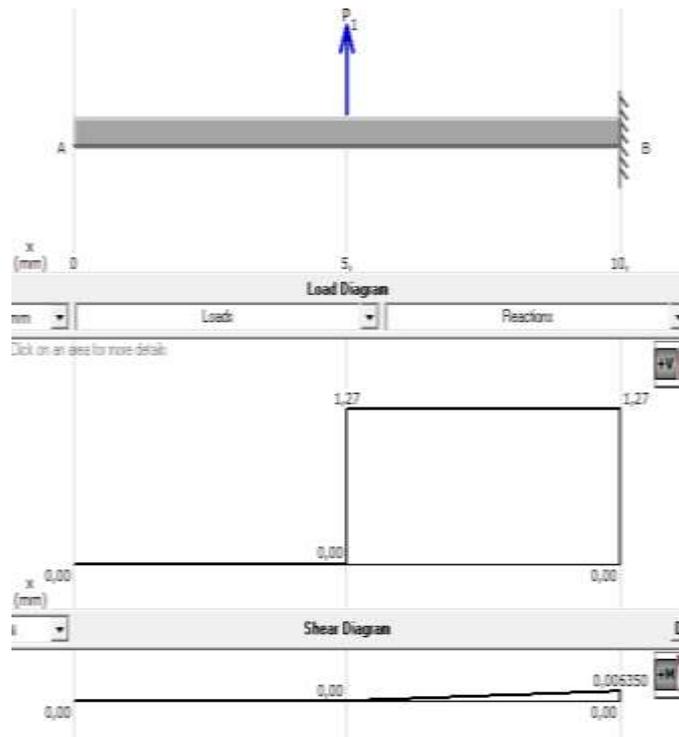


Figura 6.43 Diagrama de fuerza cortante y momento flector en el pin.
Fuente: Francisco Alcocer.

$$B_y = 1.23$$

$$M_{\text{máx}} = 0.01 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Diseño Estático

Para el análisis se considera el momento que se encuentra en el punto crítico.

$$M_{M_{\text{máx}}} = 0.01 \text{ Nm}$$

El esfuerzo por flexión se tiene mediante la ecuación 2.43.

$$\sigma_a = \frac{32 * 0.01 \text{ Nm}}{\pi d^3}$$

$$\sigma_a = \frac{0.10 \text{ Nm}}{d^3}$$

El esfuerzo por torsión del eje se tiene mediante la ecuación 2.49.

$$\tau_m = \frac{16 * 7.38 * 10^{-3} \text{ Nm}}{\pi d^3} = \frac{0.037 \text{ Nm}}{\pi d^3}$$

Utilizando la ecuación 2.44 (ecuación de Von Mises), se tiene:

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{3 * \left(\frac{0.037Nm}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_{eqm} = \sigma_m = \frac{0.33 Nm}{d^3}$$

Asumiendo un factor de seguridad de $n = 20$ y reemplazando los valores de σ_{eqm} y σ_{Total} de la ecuación 2.34, se tiene:

$$\frac{0.10Nm}{d^3} + \frac{0.33Nm}{d^3} = \frac{Sy}{n}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{0.43Nm * 20}{370000000Pa}}$$

$$d = 0.0085 m \quad 8.5 mm$$

Seleccionamos este pin con un factor de seguridad alto por la seguridad en este caso se puede usar un pedazo de un perno del mismo material incluso hasta de un mayor diámetro estándar.

6.6.26 Pernos sujetadores del motor

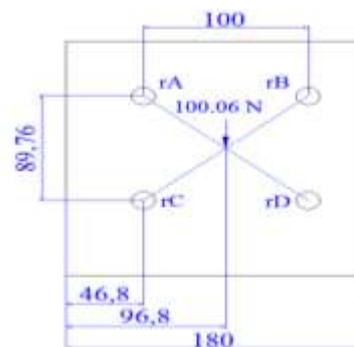


Figura 6.44 Ubicación de los pernos sobre la placa.
FUENTE: Francisco Alcocer.

Con la ecuación 2.107 tenemos el momento que generan los pernos en la base del motor.

$$M = F * d$$

$$M = 100.6N * 0.010m$$

$$M = 1.006 Nm$$

Tomamos en consideración en la colocación del motor la base tiene 4 orificios por lo que la fuerza se divide.

Dónde el esfuerzo cortante en cada perno obtenemos con la ecuación 2.108:

$$F' = \frac{V}{N}$$

Dónde:

$$F' = \frac{100.6 N}{4}$$

$$F' = 25.15 N$$

La fuerza cortante actúa en cada perno. Mediante la ecuación 2.109, calculamos el esfuerzo cortante con un factor de seguridad $n = 4$.

$$\tau = \frac{4 * 25.15 N}{Ac}$$

$$\tau = \frac{100.6N}{Ac}$$

En el Anexo B36 se puede apreciar las características del perno grado SAE grado 4.

$$Sp = 65(Kpsi) = 58.17 N/mm^2$$

$$Sy = 100(Kpsi) = 89.5 N/mm^2$$

Como la fuerza está situada en el centro de los pernos, el análisis se realiza en un perno y se obtiene por medio de la ecuación 2.108.

$$F'' = \frac{1.006N * 0.05}{(0.05)^2}$$

$$F'' = 20.1$$

Con la ecuación 2.110. Se calcula la precarga para el perno:

$$F_i = 0.8 * Sp * At$$

$$F_i = 0.8 * 58.17 \text{ N/mm}^2 * At$$

$$F_i = 46.53 * At$$

El cálculo de los esfuerzos se obtiene mediante la ecuación 2.34, dónde:

Se asume el área con $c = 0.4$ y reemplazando tenemos:

$$\sigma = \frac{46.53 * At}{At} + \frac{4 * 0.4 * 20.12}{1 * At}$$

$$\sigma = 46.53 + \frac{32.19}{At}$$

Asumiendo que $At = Ac$, se diseña según Von Misses con la ecuación 2.44 donde:

$$89.5 \text{ N/mm}^2 = \sqrt{46.53 + \left(\frac{32.19}{At}\right)^2 + 3\left(\frac{100.6}{At}\right)^2}$$

$$At = 1.98$$

Del Anexo B37, se determina un diámetro mayor nominal (d) el cual se aproxima a uno de $d = 9 \text{ mm}$, por lo que se escoge un perno de tamaño 14 mm (3/8”).

6.6.27 Pernos sujetadores de la caja reductora

Tomamos en consideración en la colocación del reductor la base tiene 4 orificios por lo que la fuerza se divide como muestra la ecuación 2.107, dónde:

$$M = F * d$$

$$M = 49.05 \text{ N} * 0.010\text{m}$$

$$M = 0.49 \text{ Nm}$$

Dónde el esfuerzo cortante en cada perno obtenemos con la ecuación 2.108:

$$F' = \frac{V}{N}$$

$$F' = \frac{49.05 \text{ N}}{4}$$

$$F' = 12.26 \text{ N}$$

La fuerza cortante actúa en cada perno. Mediante la ecuación 2.109 calculamos el esfuerzo cortante con un factor de seguridad $n = 4$.

$$\tau = \frac{4 * 12.26 N}{Ac}$$

$$\tau = \frac{49.04N}{Ac}$$

En el (Anexo B36) se puede apreciar las características del perno grado SAE grado 4.

$$Sp = 65(\text{Kpsi}) = 58.17 \text{ N/mm}^2$$

$$Sy = 100(\text{Kpsi}) = 89.5 \text{ N/mm}^2$$

Como la fuerza está situada en el centro de los pernos, el análisis se realiza en un perno y se obtiene por medio de la ecuación 2.108.

$$F'' = \frac{0.49N * 0.05}{(0.05)^2}$$

$$F'' = 9.8 \text{ N}$$

Con la ecuación 2.110 se calcula la precarga para el perno:

$$F_i = 0.8 * Sp * At$$

$$F_i = 0.8 * 58.17 \text{ N/mm}^2 * At$$

$$F_i = 46.53 * At$$

El cálculo de los esfuerzos se obtiene mediante la ecuación 2.34, se asume el área con $c = 0.4$ y reemplazando tenemos:

$$\sigma = \frac{46.53 * At}{At} + \frac{4 * 0.4 * 9.8}{1 * At}$$

$$\sigma = 46.53 + \frac{15.68}{At}$$

Asumiendo que $At = Ac$, se diseña según Von Misses con la ecuación 2.44, dónde:

$$89.5 \text{ N/mm}^2 = \sqrt{46.53 + \left(\frac{15.68}{At}\right)^2 + 3\left(\frac{49.04}{At}\right)^2}$$

$$At = 2.38$$

Del Anexo B37, se determina un diámetro mayor nominal (d) el cual se aproxima a uno de $d = 9 \text{ mm}$, se puede coger un perno de 14 mm (3/8) debido a los alojamientos disponibles.

6.6.28 Selección de la banda

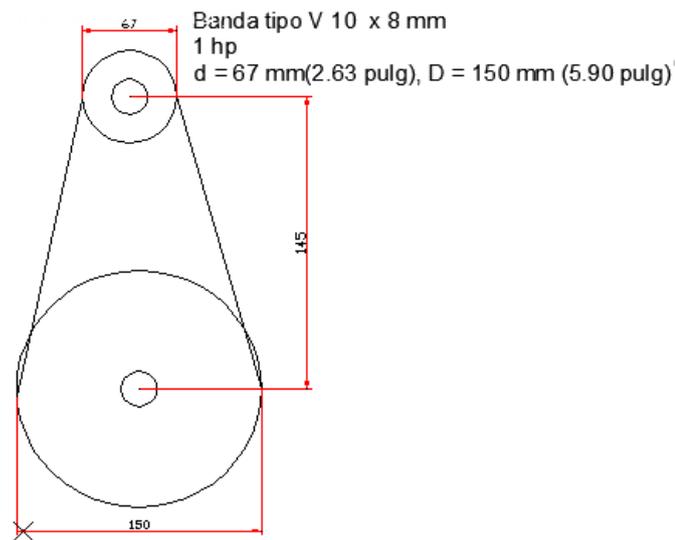


Figura 6.45 Esquema de tensiones actuantes en la banda.

FUENTE: Francisco Alcocer.

Se debe seleccionar una sola banda en V para suministrar potencia del motor a la transmisión del motoreductor, se emplea el motor de 1 hp, velocidad de 1730 rpm, la polea impulsora tiene un diámetro de 2.63 pulg; la impulsada 5.90 pulg, seleccionamos una banda satisfactoria y evaluamos el factor de seguridad. Se conoce la distancia entre centros que es de 5.708 pulg.

La longitud de paso determinamos a partir de la ecuación 2.86 dónde:

$$L_p = 2C + \pi(D + d)/2 + (D - d)^2/(4C)$$

$$L_p = 2(5.708) + \pi \frac{(5.90 + 2.63)}{2} + \frac{(5.90 - 2.63)^2}{4(5.708)}$$

$$L_p = 26.28 \text{ pulg}$$

Los ángulos de contacto se determina mediante la ecuación 2.87 dónde:

$$\theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1} \frac{D - d}{2C}$$

$$\theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1} \frac{5.90 - 2.63}{2(5.708)} = 2.57 \text{ rad}$$

$$\exp(f\theta_d) = \exp[0.5123(2.57)] = 3.730$$

La velocidad tangencial de la correa se obtiene con la ecuación 2.88, dónde:

$$V = \frac{\pi * d * n}{12} = \frac{\pi * 2.63 * 1730}{12} = 1191 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

De la tabla²⁶ 17.13 del libro de Shygly (Anexo B39).

$$\text{Angulo } \theta = \theta_d \frac{180^\circ}{\pi} (2.57 \text{ rad}) = 147.25^\circ$$

Interpolando se tiene K_1 siempre y cuando $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$, tenemos que:

$$K_1 = 0.143543 + 0.007468\theta - 0.000015052\theta^2$$

$$K_1 = 0.143543 + 0.007468(147.25^\circ) - 0.000015052(147.25^\circ)^2$$

$$K_1 = 1.18$$

La potencia de diseño está dada por la ecuación 2.89:

$$H_d = H_n * K_s * n_d$$

$$H_d = 0.69 * 1.3 * 1$$

$$H_d = 0.89 \text{ hp (Anexo B39)}$$

De la tabla²⁷ 17-14 del libro de Shygly $K_2 = 1$ (Anexo B40)

De la tabla 17-12 (Anexo B41) tomando un margen de $H_{tab} = 1.07$

La potencia permitida por la banda, se calcula con la ecuación 2.90, dónde:

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab}$$

$$H_a = 1.18 * 1 * 1.07 = 1.26 \text{ hp}$$

²⁶ Factor de corrección del ángulo K_1 para transmisiones de banda en V, Shygly 9^{na} Edición.

²⁷ Factor de corrección de longitud de banda K_2 , Shygly 9^{na} Edición, pág 869.

La potencia que se transmite por la banda está dada por la ecuación 2.91, donde:

$$\Delta F_a = \frac{63025 H_a}{n(d/2)} = \frac{63025(1.26)}{1730(2.63/2)} = 34.90 \text{ lbf}$$

El torque T_a que transmite está dado por la ecuación 2.92, donde:

$$T_a = \frac{\Delta F_a d}{2} = \frac{34.90(2.63)}{2} = 45.89 \text{ lbf} - \text{pulg}$$

Los parámetros de bandas en V de la tabla²⁸ 17.16 del libro de Shygly, se tiene:

$$K_c = 0.965$$

La tensión centrífuga está dada por la ecuación 2.93, donde:

$$F_c = K_c \left(\frac{v}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 0.965 \left(\frac{1191}{1000} \right)^2 = 1.36 \text{ lbf}$$

La relación con el par de torsión con la polea se calcula con la ecuación 2.94, donde:

$$F_i = \left(\frac{T}{d} \right) \left[\frac{\exp(f\phi) + 1}{\exp(f\phi) - 1} \right] = \left(\frac{45.89}{2.63} \right) \left(\frac{3.730 + 1}{3.730 - 1} \right) = 30.23 \text{ lbf}$$

Reemplazando en la ecuación 2.95 se obtiene la tensión mayor:

$$F_1 = F_c + F_i \left[\frac{2\exp(f\phi)}{\exp(f\phi) + 1} \right] = 1.36 + 30.23 \left[\frac{2(3.730)}{3.730 + 1} \right] = 49.03 \text{ lbf}$$

$$\text{Obteniendo, } F_2 = F_1 - \Delta F_a = 49.03 - 34.90 = 14.13 \text{ lbf}$$

Se obtiene el factor de seguridad mediante la ecuación 2.96, donde:

$$n_{fs} = \frac{H_a N_b}{H_d}$$

$$n_{fs} = \frac{1.26 * 1}{0.89} = 1.415$$

²⁸ Algunos parámetros de bandas V, Shygly 9^{na} Edición, pág 870.

Como vemos el factor de seguridad es satisfactorio por lo que se calcula las tensiones T_1 y T_2 , mediante la ecuación 2.97.

$$T_1 = F_1 + (F_b)_1 = F_1 + \frac{K_b}{d} = 43.09 + \frac{576}{2.63} = 262 \text{ lbf}$$

$$T_2 = F_1 + (F_b)_2 = F_1 + \frac{K_b}{D} = 43.09 + \frac{576}{5.90} = 140.71 \text{ lbf}$$

El número de pasadas N_p , está dado por la ecuación 2.98, dónde:

$$N_p = \left[\left(\frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left(\frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} = \left[\left(\frac{1193}{262} \right)^{-10.926} + \left(\frac{1193}{140.71} \right)^{-10.926} \right]^{-1}$$

$$N_p = 1.5(10)^7$$

La vida en horas t está dada por la ecuación 2.99, dónde:

$$t = \frac{N_p L_p}{720V} > \frac{10^9(26.28)}{720(1190)} = 30672.26 \text{ h}$$

6.6.29 Velocidad de compactación

Tenemos la velocidad de la cadena 79.16 pies/min = 402.13 mm/s

$$\Delta t_{\text{requerido}} = 0.6 \text{ seg/golpe}$$

$$D_{\text{Total}} = 400 \text{ mm}$$

Velocidad de recorrido para el primer golpe en la cadena, se utiliza la ecuación 2.105, dónde:

$$V_r = \frac{400 \text{ mm}}{0.6 \text{ seg/golpe}}$$

$$V_r = 666.66 \frac{\text{mm}}{\text{seg}} * \text{golpe}$$

Se puede poner 2 ganchos uno para que le recoja y otro para que le suelte al pisón entonces tendríamos:

$$V_r = \frac{200 \text{ mm}}{0.6 \text{ seg/golpe}}$$

$$V_r = 333.33 \frac{mm}{seg} * golpe$$

El tiempo que transcurre hasta el enganche del pisón, se calcula con la ecuación 2.106:

$$t = \frac{Wp}{\alpha_p}$$

Dónde:

$$t = \frac{4.18 \frac{rad}{seg}}{3.53 \frac{rad}{seg^2}}$$

$$t = 1.18 \text{ seg}$$

Tiempo de giro del molde después de la caída tenemos que:

$$rp = 21.67 \text{ mm}$$

$$rp2 = 44 \text{ mm}$$

$$\frac{60^\circ}{seg} = \omega_p = 1.04 \text{ rad/seg}$$

La aceleración angular se calcula de la ecuación 2.14

$$\alpha_p = \left(\frac{rp}{rp2} \right) * \omega_p * t$$

Dónde despejando se tiene:

$$\alpha_p = \left(\frac{21.67}{44} \right) * \frac{1.04 \text{ rad}}{se} * 1.18 \text{ seg}$$

$$\alpha_p = 0.60 \frac{rad}{seg^2}$$

Se tiene en la ecuación 2.106 el tiempo de giro.

$$t = \frac{\frac{1.04 \text{ rad}}{seg}}{0.60 \frac{rad}{seg^2}} = 1.73 \text{ seg}, \text{ tiempo de giro a otra posición.}$$

6.6.30 Análisis de fuerzas en la mesa de la máquina

La máquina está apoyada en una mesa de perfil estructural ASTM A-36 tipo C, adecuada a la altura de operación y al espacio necesario de trabajo en laboratorio, se realizará un análisis de fuerzas para verificar si la estructura es óptima para su uso, a continuación se tiene su esquema en la figura 6.46. El peso de la máquina es de 32.22 kg o igual a 316.07 N.



Figura 6.46 Esquema de la mesa que soporta la máquina
FUENTE: Francisco Alcocer.

Como se puede observar en la figura 6.46 se tiene la mesa con estructura soldada, donde que va ubicada la mesa, con un software de modelación se calcula la tensión de von mises que soporta la estructura, el factor de seguridad con la ecuación 2.34.

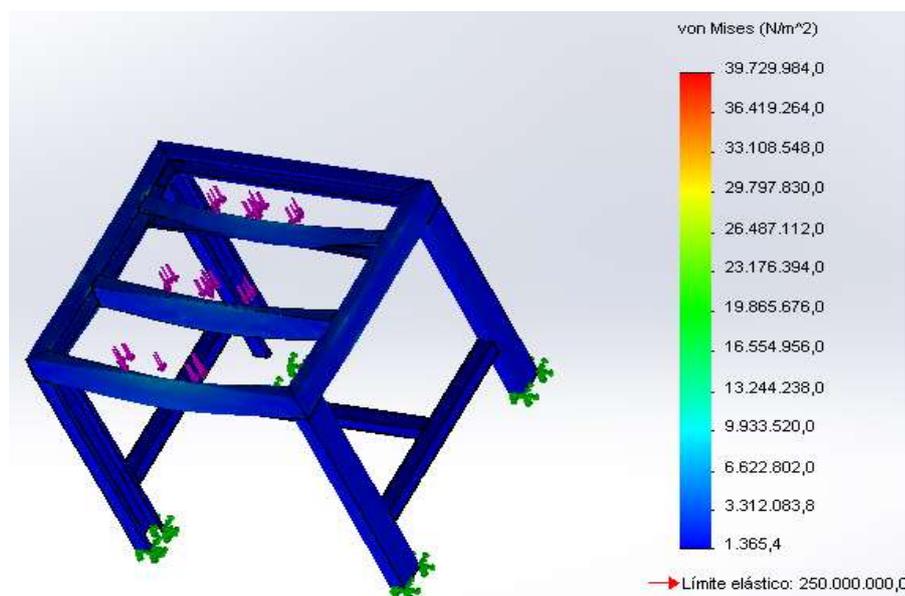


Figura 6.47 Trazado del esfuerzo de Von Mises
FUENTE: Francisco Alcocer

El esfuerzo de Von mises es 39729984 N/m²,mostrado en la figura 6.47.

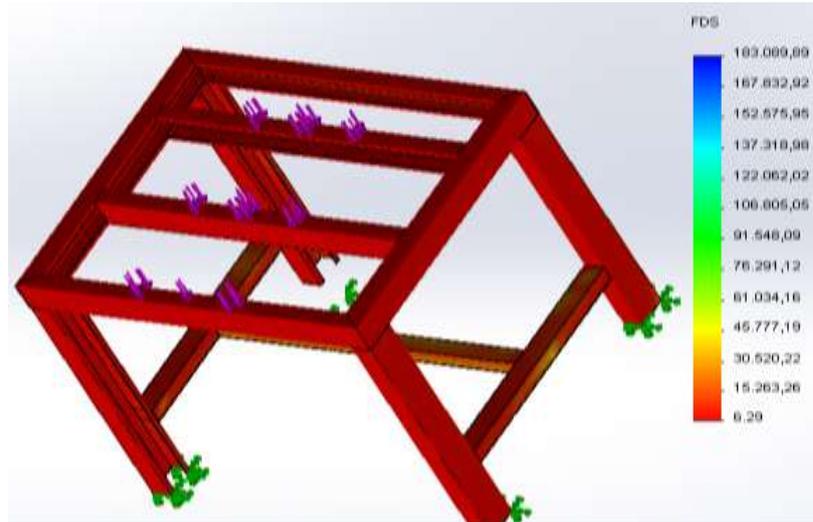


Figura 6.48 Trazado del factor de seguridad

FUENTE: Francisco Alcocer

Comprobando factor de seguridad es:

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{250000000}{39729984} = 6.29$$

El factor de seguridad es aceptable por lo que se verifica la deformación aplicado al perfil C.

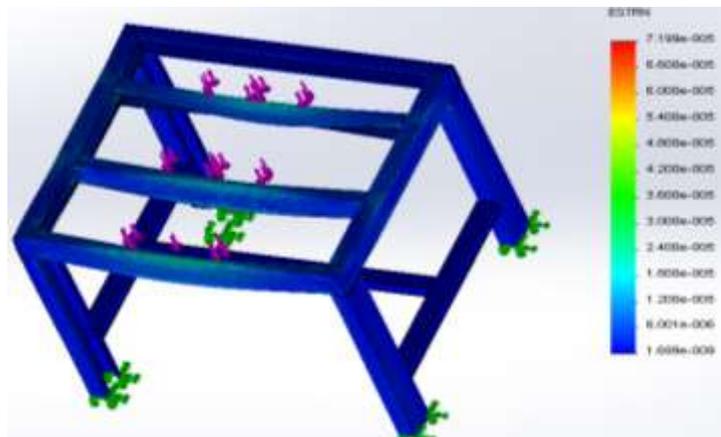


Figura 6.49 Trazado de la deformación unitaria.

FUENTE: Francisco Alcocer.

La deformación máxima es $7.199 \cdot 10^{-5}$ mm, y la deformación mínima es de $1.699 \cdot 10^0$, por lo que la mesa construida con un perfil tipo C80x40x15mm, reforzado con un tubo cuadrado de 40x40x2, es aceptable.(Anexo B43).

6.6.31 Recubrimiento de la máquina

Del catálogo Dipac (Anexo B44) se selecciona un tol adecuado de $e = 1/32$ para recubrir las cadenas y el sistema. Va doblado y atornillado con tornillos de 1/16.

6.7 METODOLOGÍA

Los elementos que conforman la máquina compactadora están diseñados y contruidos de acuerdo al requerimiento del sistema.

6.7.1 Construcción

La construcción de todos los elementos están diseñados y dimensionados de acuerdo con la experimentación previa del ensayo general proctor, se han usado parámetros fáciles de verificar como son cronómetro, balanza digital, un pisón estándar y los moldes estándar, los que sirvieron para simular el movimiento para el diseño y posteriormente la construcción (Máquina compactadora de suelos).

Utilizando materiales que se encuentran fácilmente como son ejes de transmisión SAE 1018 y platinas cuadradas de acero ASTM A-36 previamente cortados y mecanizados unidos con soldadura E6011, para la transmisión de potencia se usaron piñones ya contruidos de acero como viene de fábrica endurecidos por flama o inducción, adquiridos en la mecánica que fue construida la máquina, los piñones son de acero C3 con prisioneros. Las chavetas son de acero ASTM- A36 maquinados de acuerdo al requerimiento del diseño en los ejes de transmisión.

6.7.2 Base del molde

Esta contruido por una platina de acero ASTM A-36.

En la base va acoplado en el molde junto con el rodamiento. Se describe en la figura 6.50.



Figura. 6.50 Construcción de la base del molde.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.3 Base del motor

La base está soldada perpendicularmente con E6011 el acero es ASTM A-36, esta servirá para alojar el motor con perforaciones para pernos de ¼.de pulgada.



Figura. 6.51 Construcción de base del motor
Fuente: Francisco Alcocer

6.7.4 Eje de piñón-engrane y chumaceras

Este elemento es de acero AISI 1018, previamente maquinado en el torno hasta que se ajuste con el diámetro del piñón de cadena y del piñón del conjunto de engranes, el acabado de la chaveta se hizo en la fresa horizontal dando la profundidad de agarre diseñada, en el extremo del eje se suelda el piñón principal para formar un solo elemento por dar seguridad al conjunto eje y piñón, el mismo que está soldado con 6011. El eje horizontal se montó en dos chumaceras, cuyo propósito es dar movimiento al piñón de cadena y al engrane como se muestra en la figura 6.52.



Figura. 6.52 Conjunto piñón-engrane y chumaceras.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.5 Base de rodamiento

El diseño de este elemento es de acuerdo a la previa selección del rodamiento, el material de la base es de acero ASTM A-36 que cubrirá el diámetro exterior del rodamiento montado en x, sujetado con dos pernos de $\frac{3}{4}$ de pulgada en esta base irá alojado el piñón de empuje de 12 dientes, el rodamiento con anillos internos de retención en el rodamiento y en el piñón.



Figura 6.53 Conjunto piñón-base de rodamiento.
Fuente: Francisco Alcocer

6.7.6 Piñones de cadena

Previo a la selección y de acuerdo con los diámetros de los ejes se adquieren piñones de 19 dientes (Anexo B7) con prisioneros y las chavetas que permitirá ajustar y dar movimiento al eje superior como muestra la figura 6.54. Las cadenas tienen el mismo paso, por facilidad de montaje y sabiendo que va a soportar la carga de elevación se procede a soldar 2 ganchos en la cadena con cobre en uno de los eslabones previo a una simulación y a los datos de diseño.



Figura. 6.54 Conjunto piñón-engrane, ejes de cadena.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.7 Eje de transmisión

Está construido con un acero AISI 1018 maquinado hasta ajustar a los diámetros internos de los piñones de cadena, soldado a una base a la altura requerida de diseño y en la parte inferior un tensor de cadena soldado a la base del tubo y a la base inferior del eje.



Figura 6.55 Conjunto- ejes de transmisión.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.8 Engranés cónicos

Están fabricados de acero endurecidos por flama o inducción, permite dar movimiento al sistema de empuje coordinado con las cadenas, en el piñón cónico va acoplado el eje que sale de la caja reductora de velocidad, en el engrane va el eje fijo soldado a la base con rodamiento tiene un destaje que sirve como guía (ver planos) para evitar movimiento aleatorio en el engrane, en la parte superior del rodamiento va un disco con un pupo de empuje roscado en el centro del engrane.



Figura 6.56 Engranés cónicos.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.9 Rodamientos y chumaceras

Están seleccionados de acuerdo al diseño (ver Anexo B19) y montados en la base de la máquina, nivelados. Las chumaceras están ubicadas con pequeñas alzas a

nivel de eje requerido y en la parte superior del eje se utiliza ángulos previamente cortados hasta ajustar a la superficie del elemento.

Los pernos de ajuste son de 3/8 para las chumaceras y para los prisioneros son de 7/16”.



Figura 6.57 Montaje de rodamientos.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.10 Guía y pisón compactador

Está diseñada para guiar al pisón compactador cuyo peso es estándar es de 5 libras, en el pisón irá soldado un pedazo de platina de 10 mm de ancho por 6 mm de largo cuya finalidad es enganchar en la cadena en el movimiento ascendente y cuando se encuentre en el punto más alto pueda desengancharse el elemento y así cumplir con la norma el material del pisón es de acero inoxidable (Ver Anexo B 43) de 2” de diámetro. Al tubo guía se abre un destaje con el espesor del gancho (ver planos), (Anexo B31), el cual servirá como guía para el gancho mientras que el tubo servirá de guía para el pisón.



Figura 6.58 Guía y pisón compactador.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.11 Carcasa protectora

Por motivo de estética y de seguridad se protege a la máquina de una fina lámina fina de acero A 36 de 1/32” de espesor fácil de doblar y cortar (ver anexos planos).



Figura. 6.59 Carcasa protectora de la máquina.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.12 Molde de ensayos proctor modificado

Son fabricados de acero inoxidable y adquiridos de acuerdo al volumen estándar de la muestra a compactar, cada uno tiene dos partes y están hechos para compactar 3 capas de suelo, son fáciles de usar y van montados en la base giratoria. (Ver Anexo A). A la base del molde se abre un destaje de 5 mm de profundidad en el torno para que se acople a la base giratoria.



Figura. 6.60 Máquina y moldes proctor.
Fuente: Francisco Alcocer.

6.7.13 Instrumentos y equipos utilizados

- Cizalla
- Entenalla
- Arco de sierra
- Escuadra
- Machuelos
- Limas (cuadradas, rectangulares, redondas)
- Taladro
- Pulidora
- Soldadora GMAW
- Torno
- Fresadora universal
- Cortadora de plasma

Los instrumentos de medición que se utilizó durante el proceso de construcción y pruebas son:

- Cronómetro
- Calibrador pie de rey

6.8 ADMINISTRACIÓN

6.8.1 Análisis de costos

Costos directos

Los costos de los materiales a utilizar en la construcción del sistema mecánico de compactación se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 6.3 COSTOS DE MATERIALES MECÁNICOS.

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES	PESO (KG)	COSTO UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
1	MOTOR MONOFÁSICO 110 V 1 HP 15 A	20 CM X 30CM	15.00	180	180

Fuente: Francisco Alcocer

Tabla 6.3 Continuación

1	REDUCTOR REM 1700 -100 RPM	12CM x15CM	4.00	120	120
1	TUBO CIRCULAR ASTM A-53	2" x 500 mm	1.50	15	15
1	PERFIL ESTRUCTURAL L DOBLADO	30x30x2 mm	1.30	8	20
1	VARILLA CUADRADA BCU 24.5 mm	29 x29 mm	4.72	12	12
1	JUEGO DE ENGRANES CÓNICOS UNSG 43100	PIÑÓN 88 mm ENGRANE 155 mm	5.00	36	36
4	PIÑONES PARA CADENAS C43	Paso 12.7 /19 dientes	1.00	8	32
1	PIÑONES PARA CADENAS C43	Paso 2 dien/pul.12 dientes	0.78	7.50	7.50
1	EJES DE TRANSMISIÓN SAE 1018	1" ½ x 20cm	0.10	2.40	2.40
2	EJES DE TRANSMISIÓN SAE 1018	1" x 60cm	0.09	6	12
1	EJES DE TRANSMISIÓN AISI 304	2" x 12 cm	2.5	8	8
4	CHUMACERAS DE PISO UCP 204 ¾	58 Dext ,25 Dint	1.50	9	36
4	PLATINA ASTM A-36	100x100x12mm	9	5.50	22
2	PLATINA ASTM A-36	29x85x29 mm	1.2	1.10	2.20
2	PLATINA ASTM A-36	120x120x12mm	1.55	5.80	11.60
6	PERNOS CON TUERCA	¾ x ½"	0.001	0,18	1.08
4	PERNOS CON TUERCA	5/8 x 1/2"	0.0095	0.12	0.48
2	ANILLOS DE AJUSTE	Dext 52 mm	0,02	0.50	1.00
2	ANILLOS DE AJUSTE	Dint 25 mm	0.018	0.45	0.90
1	INTERRUPTOR SIMPLE		0.10	0,85	0,85

Fuente: Francisco Alcocer

Tabla 6.3 Continuación

4	RODAMIENTO 6005 RS	Dint 25 mm	0,23	3	12
1	RODAMIENTO 16004 RS	Dint 35 mm	0.95	7	7
1	ELECTRODOS	6011	2	6	12
1	ELECTRODOS	7018	2	7	14
Subtotal 1					600.66 USD

Fuente: Francisco Alcocer

Tabla 6.4 COSTO DE MATERILES VARIOS

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
1	PINTURA ANTICORROSIVA	4.70	4,70
3	PLIEGO DE LIJA DE HIERRO #80	3.20	9.60
1	TIÑER	1.80	1.80
1	MASILLA PARA FALLAS	2	2
1	MOLDE PROCTOR ASTM D 558	250	250
Subtotal 2			268.10 USD

Fuente: Francisco Alcocer

Costos Indirectos

Los costos que giran por la utilización de máquinas y herramientas se la detalla en la siguiente tabla, estos valores están basados por la hora de ocupación de cada una de ellas.

A continuación se presenta la tabla 6.5, con los costos de mano de obra del proyecto.

TABLA 6.5 COSTOS DE MANO DE OBRA

CARGO	HORAS DE TRABAJO (h)	COSTO/HORA (USD)	COSTO TOTAL (USD)
MAESTRO	120	4,50	540
AYUDANTE	80	2,50	200
Subtotal 3			740 USD

Fuente: Francisco Alcocer

COSTO TOTAL DE LA INVERSIÓN

Para evaluar el costo total de la máquina consideramos el 10 % de imprevistos a la suma de los costos directos e indirectos.

TABLA 6.6 COSTO TOTAL

SUBTOTAL1 +SUBTOTAL 2 +SUBTOTAL3	1574.11 USD
10% IMPREVISTOS	157.41 USD
TOTAL	1740 USD

Fuente: Francisco Alcocer

6.8.2 Financiamiento

El financiamiento del presente proyecto fué cubierto el 100% por el autor.

6.8.3 Análisis del VAN para la máquina

Para analizar el beneficio que tiene la máquina de ensayos se analiza el costo del ensayo que es de 25 USD cada ensayo en una semana se puede obtener 6 ensayos proctor con 600 USD, de ahí que el operario cobrará por realizar el ensayo 110 USD, se obtiene un valor a analizar de 490 USD. Como inversión de la máquina tenemos 1740 USD, se tiene:

Tabla 6.7 Análisis Económico del VAN para la máquina

ANÁLISIS VAN PARA LA MÁQUINA					
INVERSIÓN	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
-1740USD	490USD	490USD	490USD	490USD	490USD

Fuente: Francisco Alcocer

Tabla 6.7 Continuación

tasa	0,12%				
van	\$ 26,34				
TIR	0,12%				

Fuente: Francisco Alcocer

6.8.4 Recomendación para la operación de la máquina

- La superficie base donde se instale la máquina debe ser completamente plana (Nivelada), para que su funcionamiento sea correcto.
- Para empezar el ensayo de compactación debe estar con muestra el molde
- Poner el seguro cada vez que se haya acabado la compactación para evitar el apisonamiento de las manos.
- Mantener limpia la base del molde
- Verificar el sistema de lubricación de la caja reductora
- Secar la humedad después de utilizar los moldes, para evitar la corrosión en las paredes del molde.

6.8.5 Mantenimiento

- Diariamente realizar la limpieza y lubricación de la cadena donde se encuentran apoyados los ejes de transmisión
- Realizar diariamente la limpieza de la máquina
- Lubricar, engrasar y revisar la conexión del motor trimestralmente.

Recomendaciones de seguridad

El propósito de los símbolos de seguridad es llamar la atención para que tenga cuidado ante posibles condiciones de peligro.



Figura. 6.61 Recomendaciones de seguridad.

Fuente: Francisco Alcocer.

6.8.6 Conclusiones

- El dimensionamiento de la máquina se ha hecho de acuerdo a la necesidad de uso y recopilando de la mejor manera las fuentes de información como las de internet, opiniones de los laboratoristas.
- Con la elaboración de esta máquina se mejora el uso de máquinas para ensayos.
- Se crea un precedente de innovación para la elaboración de máquinas de laboratorio.

6.8.7 Recomendaciones

- Al realizar el proceso de compactación en la máquina el operario deberá alejar las manos del molde de compactación para evitar alteraciones en el ensayo y accidentes laborales.

MATERIALES DE REFERENCIA

1.- Bibliografía

1. Bowles, E. J. (1981). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (segunda ed.). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.
2. Herrera, L. E., Medina, A. F., & Naranjo, G. L. (2004). Tutoría de la investigación científica (Cuarta ed.). Ambato: Gráficas Corona Quito.
3. Hibbeler, R. C. (2004). Mecánica vectorial para ingenieros (segunda ed., Vol. 1). Mexico, México: Pearson.
4. Moncayo, J. (1980). Manual de Pavimentos (Primera ed.). México: Continental.
5. Mott, R. L. (1992). Diseño de elementos de máquinas (Segunda ed.). México, México: Prentice Hall.
6. Norton, R. L. (2011). Diseño de Máquinas (Cuarta ed.). México: Pearson.
7. Shigley, J. E., Larry, D., & Mitchell. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica (Octava ed.). México, Mexico: McHill.
8. Shigley, J. E., Larry, D., & Mitchell. (1985). Diseño en Ingeniería Mecánica (Cuarta ed.). México, Mexico: McHill.
9. Shigley, J. E., Larry, D., & Mitchell. (2008). Diseño en Ingeniería Mecánica (Novena ed.). México, Mexico: McHill.
10. Dipac. (2009). Productos de acero. Dipac, 75.
11. Etsa. (2011). Piñones Cadenas Motoreductores de Velocidad. Etsa, 120.

LINKOGRAFIA:

1. http://www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.
2. <http://ntics.frra.utn.edu.ar/portal/PDFs/compactacion.pdf>.

3. http://www.google.com.ec/#q=compactador+de+asfaltos+para+laboratorio&hl=es&prmd=imvns&ei=kRwTpLoJofAgQf4xbSZAQ&start=10&sa=N&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&fp=baa7f986c7a89f99&biw=1366&bih=566.
4. http://www.google.com.ec/#hl=es&source=hp&q=compactaci%C3%B2n+de+suelos&oq=compactaci%C3%B2n&aq=1v&aqi=g1gv2&aql=1&gs_sm=c&gs_upl=337011033010113140121117112121012501231010.8.411310&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.,cf.osb&fp=1&biw=1366&bih=566.
5. <http://www.google.com.ec/tracci3n/cadenas/tipo.pdf>.

ANEXO A

COTIZACIÓN DE EQUIPOS PROCTOR
MODIFICADO, MÁQUINA COMPACTADORA DE
SUELOS, Y PRECIOS DE LOS ENSAYOS.

ANEXO A1



Starter Kit Item #4

Mold

The Standard 4 inch Proctor Mold is used to produce 4 inch compacted soil specimens and has a volume of 1/30 cubic foot. All Proctor molds have detachable extension collars and base plate and are plated to resist corrosion. Two threaded hold-down studs with quick release wing nuts secure the mold to the base plate. Standard molds require the use of a [Sample Ejector](#) to remove the specimen. (LA-3000)

Meets ASTM D558, D559, D560, D698, D1557, AASHTO T99, T134, T135, T136 and T180.

See the [6 inch Mold](#)

See all FORNEY [Molds](#)

ANEXO A2



Automatic Soil Compaction Hammer (FORNEY)

Pneumatically operated automatic soil compaction hammer produces consistent results and quieter operation. It is designed to duplicate the accuracy of hand compaction but with automatic speed and repeatability. 25 blows are delivered in 31 seconds at 12 inch drop and 42 seconds at 18 inch drop. No manual adjustments are required. The hammer stops in the raised position for easy mold change or filling. Hammer and mold changes are easy and require only 90 seconds. Air cylinders and sensors assure precise, consistent, repeatable drop every time. Automatic hammer comes with 2 hammers, 5.5 lb and 10 lb and 2 compaction molds, 4 inch and 6 inch. Air requirements are 60 PSI @ 9CFM. (LA-2131)

Meets ASTM D558, D559, D560, D1557, D1558, AASHTO T99, T134, T135, T18 specifications.

See [more details](#)

See all FORNEY [Hammers](#)

ANEXO B
PARÁMETROS DE DISEÑO

ANEXO B1

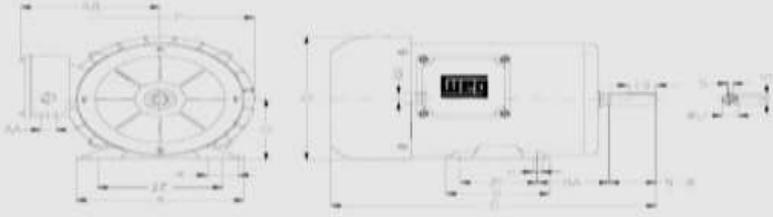
Número de paradas y arrancadas menor que 10

Naturaleza del tipo de trabajo	n° de horas que trabaja al día		
	< 2	2 - 8	8 - 24
Trabajo continuo.	sf 0,8	sf 1,00	sf 1,25
Paradas y arrancadas moderadas. Cambios de giro reducidos.	sf 1,0	sf 1,25	sf 1,5
Paradas y arrancadas constantes. Cambios de giro constantes.	sf 1,25	sf 1,5	sf 1,75

ANEXO B2

Superficies en contacto	μ_s	μ_d
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre cemento (concreto)	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25 - 0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en el cuerpo humano.	0.01	0.003

ANEXO B3



Carcasa	2E	J	A	P	AB	AH	2F	B	BA	U	dimensiones del eje			O	HO	H	G	Rodamientos		
											N-W	II	D					delantero	trazero	
B66																		202	6203 ZZ	6203 ZZ
D56	123.6	31	166	186	138	52.4	76.2	102	69.8	15.675	47.6	13.13	88.9	182	209	8.7	312	6204 ZZ	6203 ZZ	
F56H																	6666.6			

Capacitor de Arranque y Permanente

Potencia	Carcasa IEC		RPM	Corriente nominal en 220V A	Corriente a rotor bloqueado Ip / In	Par Nominal Cn (NM)	Par a rotor bloqueado Cp / Cn	Momento máximo Cmax. Cn	220 V						Factor de servicio F.S.	Momento de inercia J kgm²	Tiempo max. con rotor bloqueado en caliente / frío (s)	Peso aprox. (kg)
									Rendimiento n%			Factor de Potencia Cos φ						
									% de la potencia nominal									
kW	HP							50	75	100	50	75	100					
II Polos - 3600 rpm																		
0,16	0,25	63	3430	2,17	4,5	0,51	2,3	2,7	41	47	51	0,59	0,67	0,74	1,15	0,0002	6/13	9,8
0,25	0,33	63	3450	3,7	4,5	0,67	2,5	2,7	35	42	47	0,55	0,61	0,67	1,15	0,0003	6/13	10,4
0,37	0,5	71	3485	4	5,2	1,01	2	2,6	44	51	55	0,6	0,69	0,76	1,15	0,0007	6/13	13
0,55	0,75	80	3490	5,1	6,2	1,51	2,3	2,8	55	63	66	0,58	0,65	0,74	1,15	0,001	6/13	17,5
0,75	1	80	3490	7	6,5	2,01	2,2	2,7	60	64	67	0,52	0,64	0,72	1,15	0,0012	6/13	18,4
1,1	1,5	90S	3535	6,2	7,5	2,98	2,4	2,8	68	73,5	76	0,65	0,76	0,81	1,15	0,002	6/13	22,9
1,5	2	90L	3530	10	7,2	3,98	2,3	2,4	72	75,5	78,5	0,73	0,83	0,85	1,15	0,0024	6/13	24,9
2,2	3	100L	3480	13,8	6,8	6,06	2,1	2,5	74	77	78,5	0,89	0,92	0,94	1,15	0,0064	6/13	37,2
3	4	W112M	3490	16,5	7	8,05	2,3	2,4	74	78,5	80	0,83	0,89	0,92	1,15	0,0072	6/13	40,2
3,7	5	112M	3500	21,6	7,3	10,03	2,8	2,6	78,5	81,5	81,5	0,88	0,93	0,95	1,15	0,0084	6/13	47,1
5,5	7,5	W132S/M3490	32	7	16,09	2,6	2,5	80	82,5	84	0,86	0,92	0,94	1,15	0,0104	6/13	72,2	
9,2	12,5	132M/L	3520	51	7,5	24,94	1,5	2,7	85,5	87,5	87,5	0,91	0,94	0,94	1,00	0,0317	6/13	80,2
IV Polos - 1800 rpm																		
0,12	0,16	63	1710	1,66	4,5	0,66	2	1,8	39	45	47	0,57	0,63	0,7	1,15	0,0007	6/13	10,2
0,18	0,25	71	1710	3	4,2	1,03	2,8	2,3	38	45	47	0,48	0,56	0,62	1,15	0,0006	6/13	12,7
0,25	0,33	71	1720	3,8	4	1,35	2,6	2,4	39	44	48	0,47	0,55	0,62	1,15	0,0009	6/13	13,6
0,37	0,5	80	1750	4,6	5,1	2,01	2,3	2,7	42	49	55	0,52	0,6	0,66	1,15	0,0029	6/13	17,5
0,55	0,75	80	1740	5,9	5,5	3,03	1,9	2,2	50	58	61	0,53	0,62	0,7	1,15	0,0032	6/13	18
0,75	1	80	1720	6,8	5	4,08	1,9	2	61	65	66	0,56	0,68	0,76	1,15	0,0032	6/13	18,5
0,75	1	90S	1760	5,9	7,7	3,99	2,8	2,7	64	70	74	0,62	0,7	0,76	1,15	0,0049	6/13	24,2
1,1	1,5	90L	1760	7,5	8,5	5,99	2,5	2,9	68	74	77	0,76	0,82	0,87	1,15	0,0066	6/13	28
1,5	2	100L	1725	10,5	6	8,14	2,6	2,5	72	75,5	80	0,71	0,8	0,85	1,15	0,0089	6/13	36,8
2,2	3	W112M	1750	15	6,5	12,04	2,4	2,5	77	80	81,5	0,7	0,78	0,83	1,15	0,0097	6/13	44
3	4	112M	1745	19	7,1	16,1	2,7	2,3	72	78,5	78,5	0,79	0,87	0,9	1,15	0,0183	6/13	50,5
3,7	5	W132S/M1740	22	7,5	20,15	3,2	2,3	75,5	78,5	80	0,85	0,91	0,94	1,15	0,0163	6/13	64,2	
5,5	7,5	132M	1730	33,5	6,5	30,45	3,2	2,5	0	0	0	0,71	0,81	0,92	1,15	0,0372	6/13	71,2
7,5	10	132M	1740	42	6,5	40,37	2,5	2,2	0	0	0	0,94	0,96	0,97	1,15	0,0486	6/13	81,5
9,2	12,5	132M*	1730	52	6,2	50,75	2,2	2,3	79	84	84	0,91	0,94	0,95	1	0,0543	6/13	87,3
VI Polos - 1200 rpm																		
3,7	5	132M	1170	23,4	7,3	30,02	2,2	2,2	75,5	80	81,5	0,81	0,87	0,89	1,15	0,0836	6/13	77,5

Capacitor de Arranque y Permanente

Características Estándar

- Grado de protección: IP55
- Carcasas: hierro fundido
- Potencias: 1/6 hasta 12,5cv (carcasas 90s hasta 132M)
- Aislamiento clase $\text{III}^{\text{00}}\text{B}^{\text{00}}\text{III}^{\text{00}}$
- Tensiones: 110/220V, 220/440V o 254/508V
- Factor de servicio: 1,15
- Color: Azul RAL 5009
- Dreno automático
- Sello de descansos: V'Ring

ANEXO B4

FACTORES DE SERVICIO					RENDIMIENTOS	
F_1	a	b	c	d	F_2	η
3- 4 h	0.8	1.0	1.5	6	1.0	RC1 0.98
8-10 h	1.0	1.2	1.8	60	1.2	RC2 0.96
10-24 h	1.4	1.6	2.0	120	1.4	RC3 0.94

FS = $F_1 \times F_2$

a = Carga uniforme
 b = Carga variable
 c = Carga con golpes
 d = Arranques/hora

RC1 - Un tren
 RC2 - Dos trenes
 RC3 - Tres trenes

ANEXO B5

Modelos de cajas reductoras de velocidad

n ₁ R.P.M. DE ENTRADA: 1500 (INPUT R.P.M.: 1500)						n ₂ R.P.M. DE ENTRADA: 1800 (INPUT R.P.M.: 1800)					
Paralelo Motor	TE (RPM) salida	Velocidad de Rotación (RPM)	η _v	η _m	η _t	Paralelo Motor	TE (RPM) salida	Velocidad de Rotación (RPM)	η _v	η _m	η _t
Reductor	η _v	η _m	η _t	Torque (kg-cm)	Modelo	Reductor	η _v	η _m	η _t	Torque (kg-cm)	Modelo
1.5 C.V. (1.1 Kw)	13.6	109	89	84	5-M	4 C.V. (3 Kw)	80.8	18.8	91	32.3	5-M
	15.4	97.5	78	83		11.2	13.4	82	23.8		
	20.6	73	81	42.3	4-M	5.5 C.V. (4 Kw)	10.4	143.6	77	280	5-M
	26.7	66.3	80	32.2			12.4	121.3	88	271	
	37	40.5	82	23.8			15.1	86.2	82	214	
	43.4	34.5	86	21.2	21.3		70.3	84	156	7-M	
	57.1	26.3	88	16.5	26.4		56.7	85	126		
	71.4	21	89	13.4	37.5		40	88	99	6-M	
	86.2	15.7	90	10	43.4	34.5	90	82			
	2 C.V. (1.5 Kw)	3.17	479	70	319	8-MT	56.2	26.7	91	84	5-M
4.44		338	80	258	7-MT	80.8	18.8	90	44		
5.88		256	89	189	7-M	11.2	13.4	82	32.3	5-M	
8.32		237.5	67	192		18.2	92.5	85	282		
7.58		198.5	89	131		22.9	71.8	87	224		
10.1		148	71	100	6-M	28.4	56.7	85	172	7-M	
13.1		114.4	72	79		37.1	40.4	87	126		
15.1		89.2	80	76	5-M	46.7	32.8	90	106	5-M	
20.8		73	81	66		56.2	26.7	91	87		
27.6		54.4	82	42.6		80.3	18.7	92	62		
37		40.5	82	31.7	4-M	109	13.7	82	45	5-M	
43.4		34.5	83	27.3		23.9	71.8	87	298		
57.1		26.2	84	21		29.1	51.8	87	214		
78.4		18.5	86	16		37.1	40.4	87	168		
107		14	90	12		46.7	32.8	90	141		7-M

ANEXO B6

Factores de servicio

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ^a Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional ^b Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

^aSíncronos, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total
^bMonofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total

ANEXO B7

Tabla 17-10 DIMENSIONES DE CADENAS DE RODILLOS ESTÁNDAR NORTEAMERICANAS – UN SOLO CORDÓN

Número ANSI de cadena	Paso pulg (mm)	Anchura pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión lb/ (N)	Peso medio lb/pie (N/m)	Diámetro de rodillo pulg (mm)	Espaciamento de cordones múltiples pulg (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	...
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.133 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.65)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

Fuente: recopilado de ANSI B29.1-1975.

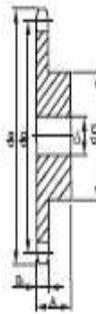
Continuación Anexo B7

Piñón 1/2" x 1/4" 12,7 x 6,4 x 8,51 mm		z	d _e	d _p	S			D			T						
					d _m	D ₁	A	d _m	D ₂	A	d _m	D ₃	A				
		8	38,0	33,18													
		9	42,0	37,13													
		10	45,9	41,10	26	10	25										
		11	49,9	45,07	28	10	25										
		12	53,9	49,07													
		13	57,9	53,06													
		14	61,9	57,07													
		15	65,9	61,09	45	10	28										
		16	69,9	65,10	50	12	28										
		17	74,0	69,11													
		18	78,0	73,14													
		19	82,0	77,16	60	12	28										
		20	86,0	81,19	64	12	28										
		21	90,1	85,22	68	14	28										
		22	94,1	89,24	70	14	28										
		23	98,1	93,27	70	14	28										
		24	102,1	97,29	70	14	28										
		25	106,2	101,33	70	14	28										
		26	110,2	105,36													
		27	114,2	109,40													
		28	118,3	113,42	70	16	30										
		29	122,3	117,46													
		30	126,3	121,50	80	16	30										
		31	130,4	125,54													
		32	134,4	129,56													
		33	138,4	133,60													
		34	142,4	137,64													
		35	146,5	141,68													
		36	150,6	145,72													
		37	154,6	149,76													
		38	158,6	153,80													
		39	162,7	157,83													
		40	166,7	161,87													

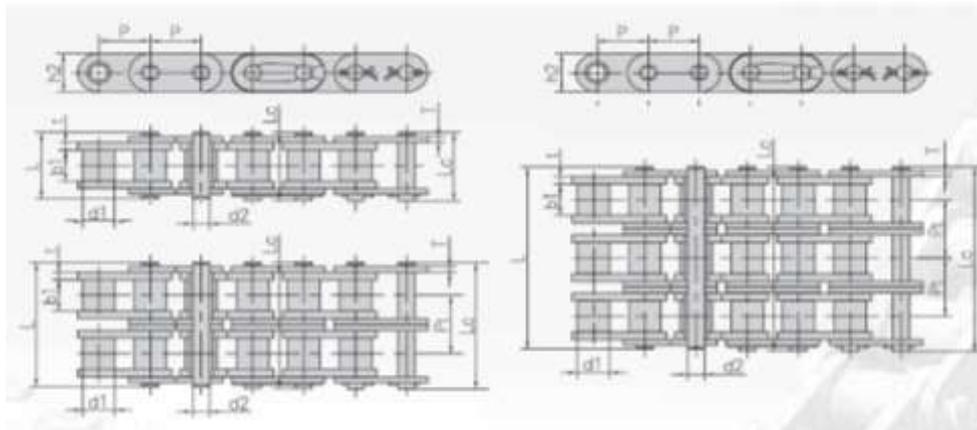
PIÑÓN	mm
r ₃	13
C	1,3
B ₁	5,9

CADENA	mm
Paso	12,7
Ancho interno	6,4
∅ Rodillo	8,51

Material C 45

ANEXO B8



Flexon	Teilung	Rollen ϕ	Lichte Weite	Bolzen ϕ	Bolzenlänge	Höhe Innerlasche Inner plate depth	Laschen-dicke	Mittenmaß	min. Bruchkraft	Durchschn. Bruchlast	Gewicht per meter	
DIN/ISO Ref.	Pitch	Roller diameter	Width between inner plates	Pin diameter	Pin length		Plate thickness	Transverse pitch	Ultimate tensile strength	Average tensile strength	Weight per meter	
	p	d ₁ max	b ₁ min	d ₂ max	L max	L ₂ max	h ₂ max	t/T max	Pt	Q min	q	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kN/LB	kN	kg/m
GL08B-1	12,700	8,51	7,75	4,45	16,7	18,2	11,8	1,60		18,0/4091	19,5	0,80
GL10B-1	15,875	10,16	9,65	5,08	19,5	20,9	14,7	1,70		22,4/5091	27,9	1,06
GL12B-1	19,050	12,07	11,88	5,72	22,5	25,2	16,0	1,85		29,0/6891	32,2	1,32
GL16B-1	25,400	15,88	17,02	8,28	36,1	39,1	21,0/24,0	4,15/3,1		60,0/13636	72,8	3,08/3,49
GL20B-1	31,750	19,05	19,56	10,19	41,3	45,0	26,4	4,5/3,5		95,0/21591	106,7	4,16
GL24B-1	38,100	25,40	25,40	14,63	53,4	57,8	33,2	6,0/4,8		160,0/36364	178,0	7,47
GL28B-1	44,450	27,94	30,99	15,90	65,1	69,5	36,7	7,5/6,0		200,0/45455	222,0	9,90
GL32B-1	50,800	29,21	30,99	17,81	68,0	71,0	42,0	7,0/6,0		250,0/56818	277,5	10,45
GL08B-2	12,700	8,51	7,75	4,45	31,2	32,2	11,8	1,60	13,92	32,0/7273	38,7	1,45
GL10B-2	15,875	10,16	9,65	5,08	36,1	37,5	14,7	1,70	16,59	44,5/10114	57,8	2,00
GL12B-2	19,050	12,07	11,88	5,72	42,0	44,7	16,0	1,85	19,46	57,8/13136	66,1	2,62
GL16B-2	25,400	15,88	17,02	8,28	68,0	71,0	21,0/24,0	4,15/3,1	31,88	106,0/24091	133,0	6,10/6,92
GL20B-2	31,750	19,05	19,56	10,19	77,8	81,5	26,4	4,5/3,5	36,45	170,0/38636	211,2	8,23
GL24B-2	38,100	25,40	25,40	14,63	101,7	106,2	33,2	6,0/4,8	48,36	280,0/63636	319,2	14,77
GL28B-2	44,450	27,94	30,99	15,90	124,6	129,1	36,7	7,5/6,0	59,56	360,0/81818	406,8	19,82
GL32B-2	50,800	29,21	30,99	17,81	124,6	129,6	42,0	7,0/6,0	58,55	450,0/102273	508,5	20,94
GL08B-3	12,700	8,51	7,75	4,45	45,1	46,1	11,8	1,60	13,92	47,5/10795	57,8	2,10
GL10B-3	15,875	10,16	9,65	5,08	52,7	54,1	14,7	1,70	16,59	66,7/15159	84,5	2,87
GL12B-3	19,050	12,07	11,88	5,72	61,5	64,2	16,0	1,85	19,46	86,7/19705	101,8	3,89
GL16B-3	25,400	15,88	17,02	8,28	99,8	102,9	21,0/24,0	4,15/3,1	31,88	160,0/36364	203,7	9,12/10,34
GL20B-3	31,750	19,05	19,56	10,19	114,2	117,9	26,4	4,5/3,5	36,45	250,0/56818	290,0	11,34
GL24B-3	38,100	25,40	25,40	14,63	150,1	154,6	33,2	6,0/4,8	48,36	425,0/96591	493,0	22,10
GL28B-3	44,450	27,94	30,99	15,90	184,2	188,7	36,7	7,5/6,0	59,56	530,0/120454	609,5	29,64
GL32B-3	50,800	29,21	30,99	17,81	184,2	188,2	42,0	7,0/6,0	58,55	630,0/142273	730,5	31,37

ANEXO B9

Paso de la cadena	Nº dientes piñón del tensor
3/8"	19
1/2"	17
5/8"	15
3/4"	13
1"	11

Tabla 24.- Número de dientes del piñón del tensor.

ANEXO B10

Transportador	Fuerza de tracción máxima
Elevador de cangilones	$T_t = D.(P_c + N)$
Transp. de tabllas	$T_t = S.C_3 (2'2.P_c + N) + D.(N - 0'2 P_c)$
Transp. con apoyo sobre cadenas	$T_t = S.C_3 (2.P_c + N) + D.N$

Tabla 9.- Tracción en el transportador

ANEXO B11

Los factores de corrección se ofrecen en las siguientes tablas:

Ambiente	Condiciones de engrase		
	Normal	Periódico	Sin engrase
Limpio	1	1'3	1'6
Sucio	1'3	1'6	1'8
Abrasivo	1'6	1'8	2

Tabla 11.- Coeficiente corrector de condiciones de trabajo, mantenimiento y ambiente C_1

Tipo de carga	Periodo de trabajo diario	
	0-8 horas	> 8 horas
Continua	1'0	1'2
Discontinua	1'2	1'4
Con sacudidas	1'5	1'8

Tabla 12.- Coeficiente corrector según tipo de carga

ANEXO B12

Planchas de acero laminadas en caliente (Hot rolled steel sheets)

CALIDAD ESTRUCTURAL

ASTM A-36 Este plancha de acero al carbón - calidad estructural, es usado en todo tipo de construcciones Estructurales. Producto de la más avanzada ingeniería, es fabricado con un punto mínimo de Cadencia de 36,000 psi. Más resistente que la placa A-283. La placa de acero – calidad Estructural A-36 es ampliamente recomendable para diseñar y construir estructuras y equipo menos pesado.

Aplicaciones: Vigas, puentes, estructuras metálicas, Tanques de almacenamiento, autopartes, torres de alta tensión, equipos mecánicos, etc.

Especificaciones técnicas

CALIDAD	COMPOSICION QUIMICA							LIMITE ELÁSTICO		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	% DE ALARGAMIENTO	APLICACIONES
	L	C	Mn	P	S	SI						
ASTM A-36	Mim Max	0.29	0.80 1.20	40	40	404	36000PSI	250MPA	58000PSI 400MPA 80000PSI 550MPA	20.0	Estructuras en general.	

Steel Structure

ANEXO B13

Table 6-2

Parameters for Marin Surface Modification Factor, Eq. (6-19)

Surface Finish	Factor <i>a</i>		Exponent <i>b</i>
	S_{utr} kpsi	S_{utr} MPa	
Ground	1.34	1.58	-0.085
Machined or cold-drawn	2.70	4.51	-0.265
Hot-rolled	14.4	57.7	-0.718
As-forged	39.9	272.	-0.995

From C.J. Noll and C. Lipson, "Allowable Working Stresses," *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, no. 2, 1946 p. 29. Reproduced by O.J. Horgner (ed.) *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, New York. Copyright © 1953 by The McGraw-Hill Companies, Inc. Reprinted by permission.

ANEXO B14

Tabla 13-10 FACTORES DE CONFIABILIDAD

Confiabilidad R	0.50	0.90	0.95	0.99	0.999	0.9999
Factor k_c	1.000	0.897	0.868	0.814	0.753	0.702

ANEXO B15

Table A-24

Mechanical Properties of Three Non-Steel Metals

(a) Typical Properties of Gray Cast Iron

[The American Society for Testing and Materials (ASTM) numbering system for gray cast iron is such that the numbers correspond to the *minimum tensile strength* in kpsi. Thus an ASTM No. 20 cast iron has a minimum tensile strength of 20 kpsi. Note particularly that the tabulations are *typical* of several heats.]

ASTM Number	Tensile Strength S_u , kpsi	Compressive Strength S_{uc} , kpsi	Shear Modulus of Rupture S_{ur} , kpsi	Modulus of Elasticity, Mpsi		Endurance Limit* S_e , kpsi	Brinell Hardness H_B	Fatigue Stress-Concentration Factor K_f
				Tension [†]	Torsion			
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10	156	1.00
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5	174	1.05
30	31	109	40	13-16.4	5.2-6.6	14	201	1.10
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16	212	1.15
40	42.5	140	57	16-20	6.4-7.8	18.5	235	1.25
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5	262	1.35
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5	302	1.50

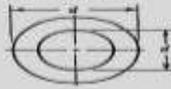
*Polished or machined specimens.

[†]The modulus of elasticity of cast iron in compression corresponds closely to the upper value in the range given for tension and is a more constant value than that for tension.

ANEXO 16

Tabla A-14 PROPIEDADES DE LAS SECCIONES

A = área
 I = momento de inercia
 J = momento polar de inercia
 Z = módulo de sección
 k = radio de giro
 \bar{x} = distancia al centroide

Rectángulo 	$A = bh$ $I = \frac{bh^3}{12}$ $Z = \frac{bh^2}{6}$	$k = 0.2886A$ $\bar{x} = \frac{b}{2}$
Triángulo 	$A = \frac{bh}{2}$ $I = \frac{bh^3}{36}$ $Z = \frac{bh^2}{24}$	$k = 0.4330A$ $\bar{x} = \frac{b}{3}$
Círculo 	$A = \frac{\pi d^2}{4}$ $I = \frac{\pi d^4}{64}$ $Z = \frac{\pi d^3}{32}$	$J = \frac{\pi d^4}{32}$ $k = \frac{d}{4}$ $\bar{x} = \frac{d}{2}$
Corona circular 	$A = \frac{\pi}{4} (d^2 - d_1^2)$ $I = \frac{\pi}{64} (d^4 - d_1^4)$ $Z = \frac{\pi}{32d} (d^3 - d_1^3)$	$J = \frac{\pi}{32} (d^4 - d_1^4)$ $k = \sqrt{\frac{d^4 + d_1^4}{16}}$ $\bar{x} = \frac{d}{2}$

ANEXO B17

Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 12000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrífugas.	20000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos.	60 000 a 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de eje de transatlánticos.	≈ 100 000

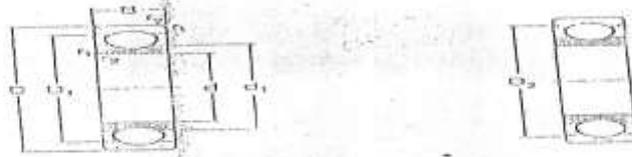
Fuente: Catálogo General SKF

ANEXO B18

▼ Factor a_1						
Probabilidad de fallo %	10	5	4	3	2	1
Vida a fatiga	L_{10}	L_5	L_4	L_3	L_2	L_1
Factor a_1	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

ANEXO B19

Rodamientos rígidos de bolas
d 17-49 mm

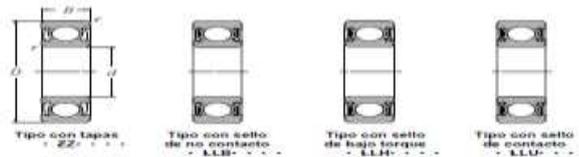


Rodamiento sin ranuras

Rodamiento con ranuras

Dimensiones principales		Capacidad de carga		Límite de velocidad		Masa	Designación	
d	D	dinám.	estát.	grasa	aceite			
mm	mm	N	kg	r/min	r/min	kg		
17	30	8	1 000	930	10 000	30 000	0,0082	61000
	35	8	8 000	2 000	10 000	24 000	0,033	10000
	38	10	6 000	2 000	10 000	24 000	0,039	6500
	40	12	9 500	4 500	17 000	20 000	0,055	2300
	47	14	13 500	8 200	16 000	18 000	0,12	6400
20	32	7	2 000	1 400	15 000	24 000	0,018	61004
	35	7	7 000	3 200	17 000	20 000	0,030	10004
	42	10	8 200	4 800	17 000	20 000	0,059	6504
	47	14	12 700	8 200	16 000	18 000	0,11	6304
	52	16	16 000	7 800	13 000	16 000	0,14	6304
25	37	7	2 100	1 000	12 000	20 000	0,022	61005
	42	7	7 100	3 000	14 000	17 000	0,036	10005
	47	10	11 200	6 000	15 000	18 000	0,060	6505
	52	13	14 200	9 000	12 000	15 000	0,12	6305
	57	17	22 500	11 500	11 000	14 000	0,23	6405
28	42	7	2 120	2 000	15 000	16 000	0,028	61006
	47	7	11 200	3 000	15 000	15 000	0,055	10006
	52	10	15 200	6 000	12 000	12 000	0,12	6306
	57	13	20 000	9 000	10 000	13 000	0,20	6306
	62	18	28 100	14 000	8 000	12 000	0,35	6406
35	47	7	4 000	3 000	13 000	16 000	0,030	61007
	52	7	13 500	6 000	15 000	13 000	0,11	10007
	57	10	18 000	9 000	10 000	10 000	0,20	6307
	62	14	25 000	12 200	9 000	11 000	0,35	6307
	67	18	31 200	18 000	8 000	10 000	0,55	6407
49	52	7	4 150	3 350	11 000	14 000	0,034	61008
	57	7	15 200	7 000	12 000	12 000	0,13	10008
	62	10	20 000	9 200	9 500	10 000	0,27	6308
	67	14	28 700	16 000	8 000	9 000	0,50	6308
	72	18	41 000	22 400	7 000	8 000	1,20	6408

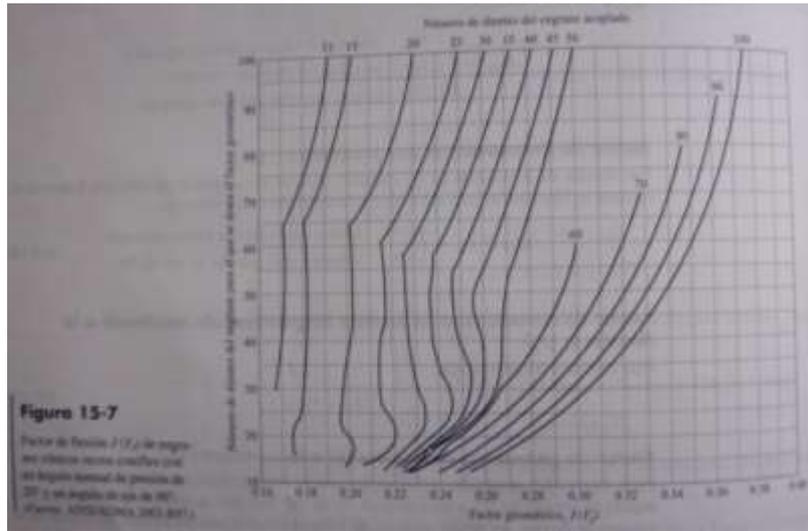
Anexo B19.1, Chumaceras NTN



Ø 28* 65mm

Dimensiones principales	Capacidades básicas de carga				Velocidades límites			
	mm		dinámicas		rpm			
d	D	B	C ₁₀	C ₀₂	grasa	LLB	LLH	LLU
28	62	12	0,6	12,6	7,40	1 270	755	8 400
	68	16	1,1	26,7	14,0	2 730	1 490	7 400
	72	18	1,1	26,7	14,0	2 730	1 490	7 400
30	42	7	0,3	4,70	3,05	480	370	8 800
	47	9	0,3	7,35	5,00	740	510	8 400
	52	13	1,1	13,2	9,2	1 350	845	7 700
32	47	7	0,3	4,90	4,05	500	410	7 600
	52	10	0,6	9,55	6,00	975	655	7 100
	57	14	1,1	18,0	10,3	1 930	1 060	6 800
35	47	7	0,3	4,90	4,05	500	410	7 600
	52	10	0,6	9,55	6,00	975	655	7 100
	60	21	1,6	33,6	19,1	3 400	1 950	6 000

ANEXO 22



ANEXO B23

Tabla 15-4
Número de esfuerzos de contacto permisible de los engranes de acero, s_{Hc} (MPa, ksi).
(Fuente: ANSI/AGMA 2003-B97.2)

Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima ¹	Número de esfuerzos por contacto permisible ² s_{Hc} (MPa, ksi) (ksi/mm ²) (ksi/mm ²)		
			Grado 1 ³	Grado 2 ³	Grado 3 ³
Acero	Endurecido completamente ¹	Figura 15-12	Figura 15-12	Figura 15-12	
	Endurecido por flama o inducción ¹	50 HRC	175 000 (1210)	190 000 (1330)	
	Carburizado y endurecido superficial ¹	Tabla 8 2003-B97	200 000 (1380)	223 000 (1550)	250 000 (1720)
AISI 4140	Nitrado ²	84.5 HR15N		145 000 (1000)	
Nitrado				160 000	
316M	Nitrado ²	90.0 HR15N		11000	

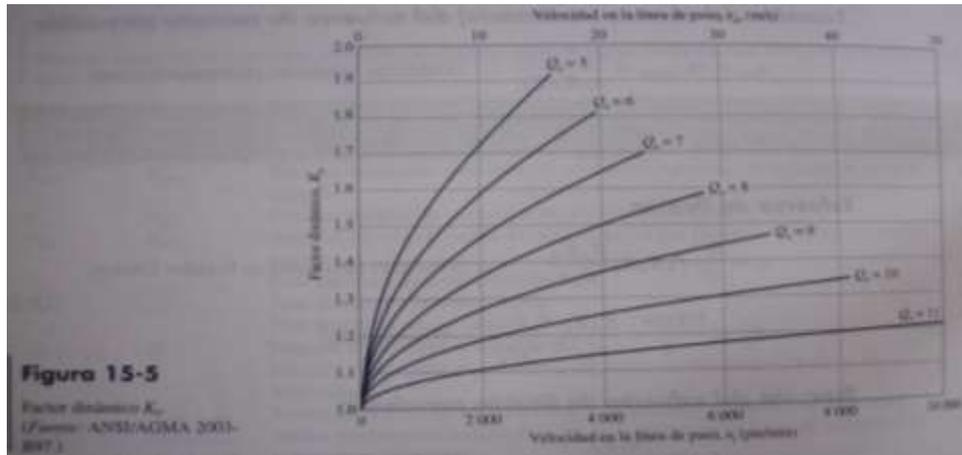
ANEXO B24

Tabla 15-6
Número de esfuerzos por flexión permisible de los engranes de acero, s_{Hb} (MPa, ksi).
(Fuente: ANSI/AGMA 2003-B97.2)

Designación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima ¹	Número de esfuerzos por flexión (permisible) ² s_{Hb} (MPa, ksi) (ksi/mm ²) (ksi/mm ²)		
			Grado 1 ³	Grado 2 ³	Grado 3 ³
Acero	Endurecido completamente	Fig. 15-13	Fig. 15-13	Fig. 15-13	
	Endurecido por flama o inducción				
	Ratios no endurecidos Ratios endurecidos	50 HRC	15 000 (185) 22 500 (154)	13 500 (95)	
	Carburizado y endurecido superficial ¹	Tabla 8 2003-B97	30 000 (205)	35 000 (240)	40 000 (275)
AISI 4140	Nitrado ^{2,3}	84.5 HR15N		22 000 (150)	
316M	Nitrado ^{2,3}	90.0 HR15N		24 000 (165)	

¹De acuerdo con ANSI/AGMA 2003-B97, tabla 8 a la 11, de los factores multiplicativos en cada grado de esfuerzo de los engranes de acero.
²Los valores de esfuerzo permisible que se indican se aplican con las profilidades de la superficie previstas en 21.1, ANSI/AGMA 2003-B97.
³La capacidad de carga de los engranes nitrados es baja. Como la forma de la curva S-N muestra en el plano, se necesita investigar la confiabilidad al aplicar estos de esfuerzos al diseño.

ANEXO B25



ANEXO B 25.1

Carácter del movimiento principal	Carácter de la carga sobre la máquina impulsada			
	Uniforme	Impacto ligero	Impacto medio	Impacto pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75 o mayor
Impacto ligero	1.10	1.35	1.60	1.85 o mayor
Impacto medio	1.25	1.50	1.75	2.00 o mayor
Impacto pesado	1.50	1.75	2.00	2.25 o mayor

Note: Esta tabla es para transmisiones reductoras de velocidad. Para transmisiones aumentadoras de velocidad, agregue 0.25 ($\text{Nuc}^2 = 0.01 (z_2/z_1)^2$) a los factores anteriores.

ANEXO B26

Grado de viscosidad	Viscosidad Cinemática media	Límites de Viscosidad Cinemática en Cera 40 °C	
		Mínima	Máxima
ISO VG 2	2.2	1.98	2.42
ISO VG 3	3.2	2.88	3.52
ISO VG 5	4.6	4.14	5.03
ISO VG 7	6.8	6.12	7.48
ISO VG 10	10.0	9.00	11.00
ISO VG 15	15.0	13.50	16.50
ISO VG 22	22.0	19.80	24.20
ISO VG 32	32.0	28.80	35.20
ISO VG 46	46.0	41.40	50.60
ISO VG 68	68.0	61.20	74.80
ISO VG 100	100.0	90.00	110.00
ISO VG 150	150.0	135.00	165.00
ISO VG 220	220.0	198.00	242.00
ISO VG 320	320.0	288.00	352.00

ANEXO B30

Cargas estables sobre perforaciones de una hilera de boleros con contacto en el eje, diseño B.

Distribución de los refuerzos

Montaje	Condiciones de carga	Cargas estables
<p>Montaje B</p>	1 a) $F_{1A} \geq F_{1B}$ $K_A \geq 0$	$F_{1A} = 1,14 F_{1A}$ $F_{1B} = F_{1A} + K_A$
	1 b) $F_{1A} < F_{1B}$ $K_A \geq 1,14 (F_{1B} - F_{1A})$	$F_{1A} = 1,14 F_{1A}$ $F_{1B} = F_{1A} + K_A$
<p>Montaje X</p>	1 a) $F_{1A} \geq F_{1B}$ $K_A \geq 1,14 (F_{1B} - F_{1A})$	$F_{1A} = F_{1A} + K_A$ $F_{1B} = 1,14 F_{1B}$
	1 b) $F_{1A} < F_{1B}$ $K_A \geq 1,14 (F_{1B} - F_{1A})$	$F_{1A} = F_{1A} + K_A$ $F_{1B} = 1,14 F_{1B}$
<p>Montaje D</p>	2 a) $F_{1A} \geq F_{1B}$ $K_A \geq 0$	$F_{1A} = F_{1A} + K_A$ $F_{1B} = 1,14 F_{1B}$
	2 b) $F_{1A} < F_{1B}$ $K_A \geq 1,14 (F_{1B} - F_{1A})$	$F_{1A} = F_{1A} + K_A$ $F_{1B} = 1,14 F_{1B}$
<p>Montaje X</p>	2 a) $F_{1A} \geq F_{1B}$ $K_A < 1,14 (F_{1B} - F_{1A})$	$F_{1A} = 1,14 F_{1A}$ $F_{1B} = F_{1A} + K_A$
	2 b) $F_{1A} < F_{1B}$ $K_A < 1,14 (F_{1B} - F_{1A})$	$F_{1A} = 1,14 F_{1A}$ $F_{1B} = F_{1A} + K_A$

ANEXO B31



TUBERIA PARA VAPOR TUBERIA SIN COSTURA Y ACCESORIOS CEDULA 80

Especificaciones Generales

Norma: ASTM - A33 GrB para aplicaciones de vapor
Recubrimiento: Pintura epoxi
Largo estándar: 6,00m
Otros largos: Por favor consultar



NOMINAL	DIAMETRO		ESPESOR		PRESION PRUEBA		PESO
	EXTERIOR mm	INTERIOR pulg	mm	pulg	kg/cm ²	lb/in ²	
1/2"	15,70	0,94	3,02	0,11	60	850	0,80
3/8"	17,10	0,97	3,20	0,12	60	850	1,10
1/2"	21,30	0,94	3,78	0,14	60	850	1,00
3/4"	25,70	1,08	3,91	0,15	60	850	2,18
1"	33,40	1,31	4,58	0,17	60	850	3,23
1 1/8"	42,30	1,86	4,88	0,19	134	1900	4,47
1 1/2"	48,30	1,90	5,09	0,20	134	1900	6,41
2"	60,30	2,37	5,24	0,21	178	2500	7,40
2 1/2"	75,00	3,07	7,01	0,27	178	2500	11,41
3"	88,90	3,90	7,62	0,30	178	2500	15,27
4"	114,30	4,90	8,58	0,33	187	2600	22,31
6"	168,30	6,88	10,37	0,41	187	2740	42,36

ANEXO B32

Table A-20

Deterministic ASTM Minimum Tensile and Yield Strengths for Some Hot-Rolled (HR) and Cold Drawn (CD) Steels [The strengths listed are estimated ASTM minimum values in the size ranges 1.6 to 32 mm ($\frac{1}{8}$ to $1\frac{1}{2}$ in). These strengths are suitable for use with the design factor defined in Sec. 1-10, provided the materials conform to ASTM A6 or A568 requirements or are required in the purchase specifications. Remember that a numbering system is not a specification.] Source: 1986 SAE Handbook, p. 2-15.

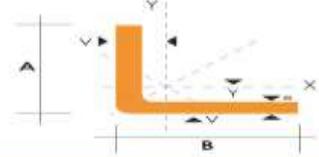
1	2	3	4	5	6	7	8
UNS No.	SAE and/or AISI No.	Processing	Tensile Strength, MPa (ksi)	Yield Strength, MPa (ksi)	Elongation in 2 in., %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
G10050	1005	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
G10100	1010	CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10150	1015	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
G10180	1018	CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10200	1020	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
G10250	1025	CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10300	1030	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
G10350	1035	CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10400	1040	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
G10450	1045	CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10500	1050	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
G10550	1055	CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10600	1060	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
G10650	1065	CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10700	1070	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
G10750	1075	CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10800	1080	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
G10850	1085	CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10900	1090	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
G10950	1095	CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G11000	1100	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G11050	1105	CD	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G11100	1110	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

ANEXO B33



PERFILES ESTRUCTURALES
ANGULOS "L" DOBLADO
Especificaciones Generales

Norma: INEN 1 623-2000
Otras calidades: Previa consulta
Largo estándar: 6,0m
Otras longos: Previa consulta
Espesores: Desde 1,5mm hasta 12,0mm
Acabado: Natural
Otro acabados: Previa consulta



DIMENSIONES			PESOS		SECCION	EJE X-X		EJE Y-Y		EJE U-U		EJE V-V	
A	B	e	6 metros	1 metro		I	W	I	X=Y	I	X=Y	I	X=Y
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm	cm	cm
25	25	2	4.38	0.73	0.93	0.87	0.32	0.78	0.72	0.88	0.47	0.47	0.47
25	25	3	6.06	1.06	1.35	0.79	0.44	0.70	0.77	0.90	0.44	0.44	0.44
30	30	2	6.34	0.88	1.13	1.00	0.48	0.84	0.84	1.20	0.88	0.88	0.88
30	30	3	7.80	1.30	1.60	1.41	0.67	0.92	0.80	1.18	0.55	0.55	0.55
35	35	4	10.08	1.88	2.14	1.80	0.88	0.92	0.84	1.17	0.82	0.82	0.82
40	40	2	7.20	1.20	1.53	2.44	0.64	1.26	1.09	1.61	0.78	0.78	0.78
40	40	3	10.62	1.77	2.28	3.80	1.22	1.29	1.14	1.89	0.76	0.76	0.76
40	40	4	13.60	2.31	2.94	4.46	1.58	1.23	1.19	1.58	0.76	0.76	0.76
40	40	5	19.82	3.82	3.89	8.31	1.91	1.22	1.23	0.73	0.73	0.73	0.73
50	50	2	9.12	1.52	1.93	4.06	1.33	1.58	1.34	2.01	0.98	0.98	0.98
50	50	3	13.44	2.24	2.85	7.03	1.95	1.57	1.39	2.00	0.96	0.96	0.96
50	50	4	17.64	2.94	3.74	9.04	2.53	1.65	1.43	1.96	0.94	0.94	0.94
50	50	5	21.60	3.60	4.59	10.88	3.09	1.64	1.48	1.97	0.93	0.93	0.93
50	50	6	28.92	4.82	6.40	12.87	3.62	1.63	1.53	1.96	0.90	0.90	0.90
60	60	3	16.20	2.71	3.45	12.37	2.84	1.69	1.64	2.41	1.16	1.16	1.16
60	60	4	21.38	3.86	4.84	16.00	3.71	1.88	1.68	2.39	1.16	1.16	1.16
60	60	5	26.34	4.39	5.59	19.40	4.54	1.85	1.73	2.36	1.13	1.13	1.13
60	60	6	31.88	5.28	6.60	22.58	5.33	1.88	1.78	2.37	1.11	1.11	1.11
60	60	8	41.04	6.84	8.56	28.21	6.05	1.82	1.80	2.34	1.05	1.05	1.05
75	75	3	18.88	3.28	4.38	24.88	4.48	2.38	2.01	3.02	1.48	1.48	1.48
75	75	4	27.06	4.51	5.74	32.02	5.68	2.36	2.06	3.00	1.45	1.45	1.45
75	75	5	33.42	5.87	7.09	38.68	7.25	2.38	2.11	2.99	1.43	1.43	1.43
75	75	6	40.32	6.72	8.40	45.76	8.57	2.33	2.16	2.97	1.40	1.40	1.40
75	75	8	52.88	8.78	10.85	58.03	11.08	2.30	2.25	2.95	1.37	1.37	1.37
75	75	10	64.92	10.82	13.35	68.88	13.38	2.27	2.35	2.92	1.32	1.32	1.32
80	80	4	28.92	4.82	6.14	38.10	6.72	2.52	2.18	3.21	1.60	1.60	1.60
80	80	5	35.76	5.96	7.69	47.79	8.26	2.51	2.23	3.20	1.54	1.54	1.54
80	80	6	43.20	7.20	9.00	56.05	9.80	2.49	2.28	3.18	1.51	1.51	1.51
80	80	8	56.40	9.40	11.75	71.32	12.67	2.46	2.37	3.16	1.46	1.46	1.46
80	80	10	68.94	11.49	14.35	84.94	15.30	2.45	2.47	3.13	1.43	1.43	1.43
80	80	12	81.78	13.63	16.83	97.05	17.87	2.40	2.67	3.10	1.38	1.38	1.38

También en galvanizado e inoxidable - Medidas Especiales Bajo Pedido.

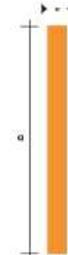
ANEXO B34

SQUARE AND ROUND BARS									
Weight and area									
Size In.	Weight Lb. per Ft.		Area Sq. In.		Size In.	Weight Lb. per Ft.		Area Sq. In.	
	■	●	□	○		■	●	□	○
0					3	30.63	24.05	9.000	7.069
1/16	0.013	0.010	0.0039	0.0031	3 1/16	31.91	25.07	9.379	7.366
1/8	0.050	0.040	0.0156	0.0123	3 1/8	33.23	26.10	9.796	7.670
3/16	1.120	0.884	0.0362	0.0276	3 1/4	34.57	27.15	10.160	7.980
1/4	0.213	0.167	0.0675	0.0491	3 1/2	35.94	28.23	10.563	8.296
5/16	0.332	0.261	0.0977	0.0737	3 3/4	37.34	29.32	10.973	8.618
3/8	0.479	0.370	0.1400	0.1105	3 1/2	38.76	30.44	11.391	8.946
7/16	0.651	0.512	0.1914	0.1503	3 3/4	40.21	31.56	11.816	9.281
1/2	0.851	0.660	0.2500	0.1969	3 1/2	41.68	32.74	12.250	9.621
9/16	1.077	0.846	0.3184	0.2489	3 3/4	43.19	33.92	12.691	9.966
5/8	1.329	1.044	0.3969	0.3096	3 1/2	44.71	35.12	13.141	10.321
11/16	1.606	1.263	0.4727	0.3712	3 3/4	46.27	36.34	13.598	10.680
3/4	1.914	1.503	0.5625	0.4418	3 1/2	47.85	37.58	14.063	11.045
7/8	2.348	1.794	0.6832	0.5186	3 3/4	49.46	38.85	14.535	11.416
1	2.905	2.046	0.7854	0.6013	3 1/2	51.09	40.13	15.016	11.792
1 1/16	2.991	2.349	0.8799	0.6903	3 3/4	52.76	41.43	15.504	12.177
1 1/8	3.403	2.673	1.0000	0.7854	4	54.44	42.76	16.000	12.566
1 1/4	3.841	3.017	1.1209	0.8866	4 1/16	56.16	44.11	16.504	12.962
1 1/2	4.307	3.382	1.2525	0.9940	4 1/8	57.90	45.47	17.016	13.364
1 3/8	4.795	3.759	1.4102	1.1075	4 1/4	59.67	46.86	17.535	13.772
1 1/2	5.317	4.176	1.5825	1.2272	4 1/2	61.46	48.27	18.063	14.186
1 5/8	5.862	4.624	1.7227	1.3530	4 3/4	63.28	49.70	18.598	14.607
1 3/4	6.433	5.053	1.8906	1.4849	4 1/2	65.12	51.15	19.141	15.033
1 7/8	7.032	5.523	2.0694	1.6230	4 3/4	67.01	52.63	19.691	15.466
2	7.656	6.013	2.2500	1.7671	4 1/2	68.91	54.12	20.250	15.904
2 1/16	8.306	6.525	2.4414	1.9175	4 3/4	70.83	55.63	20.816	16.346
2 1/8	8.986	7.067	2.6406	2.0739	4 1/2	72.79	57.17	21.391	16.800
2 1/4	9.690	7.610	2.8477	2.2365	4 3/4	74.77	58.72	21.973	17.267
2 1/2	10.421	8.185	3.0625	2.4053	4 1/2	76.78	60.30	22.563	17.721

ANEXO B35

Calidad	ASTM A36 SAE 1008	
Otras calidades	Previa Consulta	
Largo normal	6.00m	
Otros largos	Previa Consulta	
Acabado	Natural	
Otro acabado	Previa Consulta	

DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/8m	cm2
	a	e			
PLT 12X3	12	3	0.28	1.70	0.36
PLT 12X4	12	4	0.38	2.45	0.48
PLT 12X6	12	6	0.57	3.40	0.72
PLT 19X3	19	3	0.45	2.68	0.57
PLT 19X4	19	4	0.60	3.58	0.76
PLT 19X6	19	6	0.89	5.37	1.15
PLT 25X3	25	3	0.59	3.53	0.75
PLT 25X4	25	4	0.79	4.71	1.00
PLT 25X6	25	6	1.18	7.07	1.50
PLT 25X12	30	3	0.71	4.24	0.90
PLT 30X4	30	4	0.94	5.65	1.20
PLT 30X6	30	6	1.41	8.47	1.80
PLT 30X9	30	9	2.12	12.71	2.70
PLT 30X12	30	12	2.83	16.65	3.60
PLT 38X3	38	3	0.89	5.37	1.15
PLT 38X4	38	4	1.19	7.16	1.52
PLT 38X6	38	6	1.79	11.40	2.28
PLT 38X9	38	9	2.69	16.11	3.42
PLT 38X12	38	12	3.58	21.48	4.56
PLT 50X3	50	3	1.18	7.08	1.50
PLT 50X4	50	4	1.58	9.42	2.00
PLT 50X6	50	6	2.25	14.16	3.00
PLT 50X9	50	9	3.53	21.20	4.50
PLT 50X12	50	12	4.71	28.26	6.00
PLT 65X6	65	6	3.06	18.37	3.90
PLT 65X9	65	9	4.59	27.55	5.85
PLT 65X12	65	12	6.12	36.73	7.80
PLT 75X6	75	6	3.53	21.20	4.50
PLT 75X9	75	9	5.30	31.80	6.75
PLT 75X8	75	8	7.07	28.26	9.00
PLT 75X12	75	12	7.07	42.39	9.00
PLT 100X6	100	6	4.71	28.26	6.00
PLT 100X8	100	8	7.07	37.68	9.00
PLT 100X9	100	9	7.07	43.00	9.00
PLT 100X12	100	12	9.42	58.00	12.00
PLT 120X12	120	12	67.82	67.82	14.40
PLT 150X15	150	15	105.88	105.88	22.50
PLT 150X20	150	20	145.44	145.00	30.00



ANEXO 36

Especificaciones SAE para pernos UNS de acero.

Grado SAE	Intervalo de tamaños (inclusive) (in)	Resistencia límite mínima a la tracción S_p (ksi)	Resistencia de fluencia mínima a la tracción S_y (ksi)	Resistencia última mínima a la tracción S_u (ksi)	Características del acero
1	¼ a 1½	33	36	60	Medio o bajo carbono
2	¼ a ¾	55	57	74	Medio o bajo carbono
	7/8 a 1½	33	36	60	
4	¼ a 1½	65	100	115	Medio carbono estirado en frío
5	¼ a 1	85	92	120	Medio carbono templado y revenido
	1 1/8 a 1½	74	81	105	
5.2	¼ a 1	85	92	120	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido
7	¼ a 1½	105	115	133	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8	¼ a 1½	120	130	150	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8.2	¼ a 1	120	130	150	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido

ANEXO B37

Dimensiones de pernos

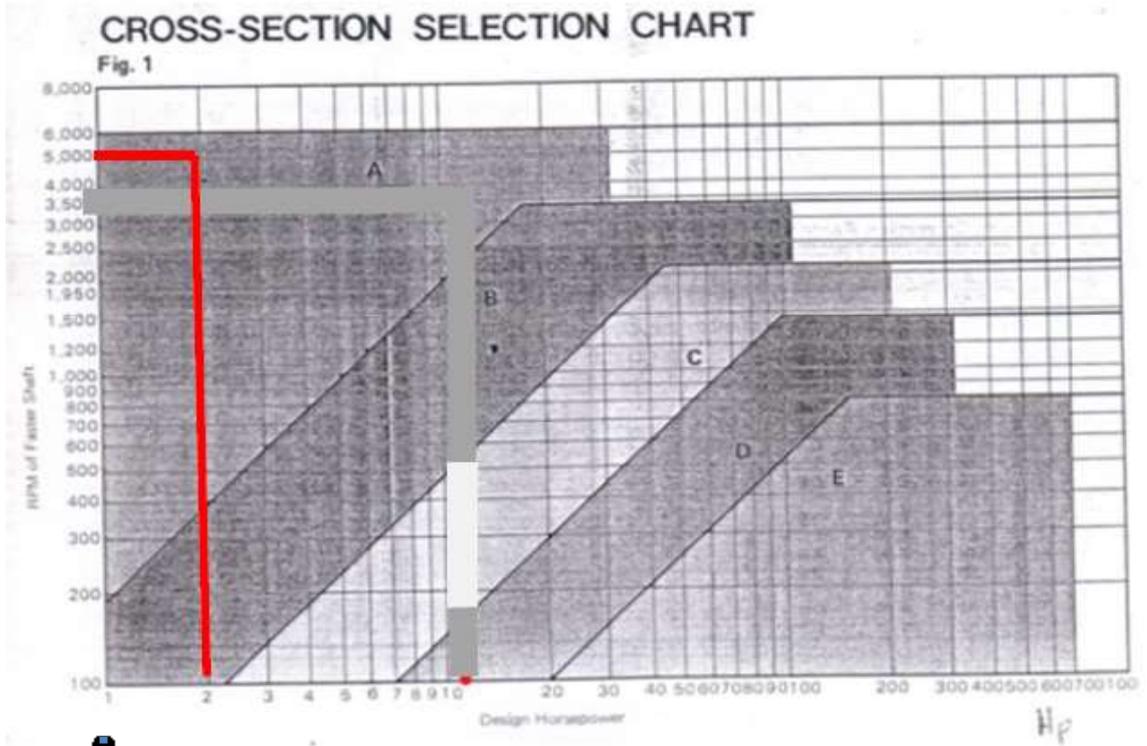
Tamaño	Diámetro mayor d (in o pulg)	Roscas bastas—UNC			Roscas finas—UNF		
		Hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tensión A_t (in ²)	Hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tensión A_t (in ²)
0	0.0600	—	—	—	80	0.0438	0.0018
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0520	0.0028
2	0.0860	56	0.0628	0.0037	64	0.0657	0.0039
3	0.0990	48	0.0719	0.0049	56	0.0758	0.0052
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258
1/4	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187
1/2	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600
5/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560
3/4	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7922	0.5095
1	1.0000	8	0.8376	0.6057	12	0.8917	0.6630
1 1/8	1.1250	7	0.9354	0.7633	12	1.0167	0.8557
1 1/4	1.2500	7	1.0644	0.9691	12	1.1417	1.0729
1 3/8	1.3750	6	1.1585	1.1549	12	1.2667	1.3147
1 1/2	1.5000	6	1.2835	1.4053	12	1.3917	1.5810
1 3/4	1.7500	5	1.4902	1.8995			
2	2.0000	4.5	1.7113	2.4982			
2 1/4	2.2500	4.5	1.9613	3.2477			
2 1/2	2.5000	4	2.1752	3.9988			
2 3/4	2.7500	4	2.4252	4.9340			
3	3.0000	4	2.6752	5.9674			
3 1/4	3.2500	4	2.9252	7.0989			
3 1/2	3.5000	4	3.1752	8.3286			
3 3/4	3.7500	4	3.4252	9.6565			
4	4.0000	4	3.6752	11.0826			

ANEXO B38

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ^a Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional ^b Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

^aSíncronos, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total
^bMonofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total

ANEXO B39



ANEXO B39

$\frac{D-d}{C}$	α , grados	VV	K_1	Plano en V
0.00	180	1.00		0.75
0.10	174.3	0.99		0.76
0.20	166.3	0.97		0.78
0.30	156.7	0.96		0.79
0.40	146.9	0.94		0.80
0.50	137.0	0.93		0.81
0.60	127.1	0.91		0.83
0.70	119.0	0.89		0.84
0.80	112.5	0.87		0.85
0.90	106.5	0.85		0.85
1.00	100.0	0.82		0.82
1.10	113.3	0.80		0.80
1.20	106.3	0.77		0.77
1.30	98.9	0.73		0.73
1.40	91.1	0.70		0.70
1.50	82.8	0.65		0.65

ANEXO B40

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

* Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.

ANEXO B41

Potencias nominales de bandas en V estándar.

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/mín				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.95	2.89	
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.39	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.04	4.44	3.12
	8.0	2.98	4.90	5.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.00	1.25
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.25	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	35.7
	28.0 y mayor	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

ANEXO B42

Perfiles Estructurales: Correas



DIMENSIONES		PESO	ÁREA		PROPIEDADES							
					Ejes X-X				Ejes Y-Y			
H	B	C	d	P	A	I	W	I	W	I	X	
mm	mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm	
100	25	13	2	12.04	2.54	14.88	4.30	2.42	3.28	2.74	1.48	1.07
100	25	13	3	18.98	3.81	20.96	6.90	2.45	7.20	3.77	1.41	1.04
80	40	15	2	15.88	3.54	35.2	8.81	3.36	8.1	3.18	3.51	1.46
80	40	15	3	24.86	5.21	49.0	12.3	3.39	10.8	4.37	3.46	1.46
100	50	15	2	26.40	4.27	47.5	13.3	3.90	14.5	4.41	3.84	1.71
100	50	15	3	39.70	6.21	67.8	19.6	3.94	26.5	6.25	3.85	1.72
125	56	15	2	22.80	4.84	53.0	16.6	4.91	16.2	4.76	3.87	1.58
125	56	15	3	33.24	7.08	73.0	26.1	4.84	27.2	6.43	3.77	1.55
150	56	18	2	25.34	5.34	57.0	13.8	5.79	17.5	4.76	3.76	1.42
150	56	18	3	36.75	7.81	79.0	24.5	5.72	23.5	6.58	3.75	1.40
175	56	18	2	25.94	5.44	55.0	15.5	7.48	18.6	4.91	3.71	1.31
175	56	18	3	41.85	8.24	81.0	23.0	7.40	25.5	6.74	3.60	1.31
200	70	20	4	60.80	11.30	100.0	26.0	11.00	34.0	10.30	3.38	1.84
200	70	20	5	92.00	16.30	140.0	37.0	11.50	51.0	14.00	3.62	2.07
200	70	20	6	128.74	22.80	190.0	51.0	11.40	69.0	17.40	3.34	2.06

NOTACIONES:

1. Área de la sección transversal del perfil.

2. Momento de inercia de la sección, con

3. Momento estático de la sección, con

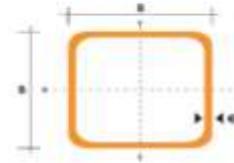
4. Radio de giro de la sección, con

5. Distancia desde el eje hasta el eje de la sección transversal de un perfil, con



ANEXO B43

DIMENSIONES			AREA		EJES X-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm2	I cm4	Wy cm4	Ix cm4	
25	1,2	0,72	0,90	0,83	0,92	0,77	
25	1,5	0,88	1,02	0,98	1,02	0,74	
25	2,0	1,15	1,24	0,99	0,89	0,72	
25	1,3	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97	
25	1,3	1,12	1,20	1,21	0,97	0,95	
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,16	0,92	
30	1,2	1,09	1,38	1,31	1,28	1,18	
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,48	1,15	
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13	
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25	
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56	
40	2,0	2,41	2,94	8,93	3,48	1,84	
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52	
50	1,5	2,29	2,85	11,00	4,42	1,87	
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,84	
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,40	1,91	
60	2,0	3,99	5,74	21,26	7,59	2,38	
60	3,0	5,42	8,61	29,06	11,89	2,34	
75	2,0	4,92	8,74	30,47	13,46	2,97	
75	3,0	6,71	12,41	31,54	18,09	2,92	
75	4,0	8,88	16,86	39,98	24,00	2,87	
80	2,0	6,17	7,74	122,90	34,00	3,90	
80	3,0	8,17	11,41	176,88	36,39	3,94	
100	4,0	12,53	14,86	226,09	45,22	3,88	
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84	



ANEXO 43

EJES
ACERO INOXIDABLE

Especificaciones Generales

DIMENSIONES

DIAMETRO	LONGITUD
1/2"	6m
3/4"	6m
1"	6m
1 1/4"	6m
1 1/2"	6m
2"	6m
2 1/2"	6m
3"	6m
3 1/2"	6m
4"	6m
5"	6m
6"	6m

ANEXO 44

REDUCCION DE FRACCIONES DE PULGADAS A MILIMETROS		
PULGADAS - MILIMETROS	PULGADAS - MILIMETROS	PULGADAS - MILIMETROS
1/128 = 0,20	25/64 = 9,92	27/32 = 21,43
1/64 = 0,40	13/32 = 10,32	55/64 = 21,83
3/128 = 0,60	27/64 = 10,72	7/8 = 22,23
1/40 = 0,64	7/16 = 11,11	57/64 = 22,62
1/32 = 0,79	29/64 = 11,51	29/32 = 23,02
1/25 = 1,02	15/32 = 11,91	59/64 = 23,42
3/64 = 1,19	31/64 = 12,30	15/16 = 23,81
1/20 = 1,27	1/2 = 12,70	61/64 = 24,21
1/16 = 1,59	33/64 = 13,10	61/32 = 24,61
5/64 = 1,98	17/32 = 13,49	63/64 = 25,00
3/32 = 2,38	35/64 = 13,89	1 = 25,40
7/64 = 2,78	9/16 = 14,29	11/10 = 27,00
1/8 = 3,18	37/64 = 14,68	11/8 = 28,60
9/64 = 3,57	19/32 = 15,08	18/16 = 30,20
5/32 = 3,97	39/64 = 15,48	11/4 = 31,70
11/64 = 4,37	5/8 = 15,88	15/16 = 33,30
3/16 = 4,76	41/64 = 16,27	13/8 = 34,90
13/64 = 5,16	21/32 = 16,67	17/16 = 36,50
7/32 = 5,56	46/64 = 17,07	11/2 = 38,10
15/64 = 5,95	11/16 = 17,46	19/10 = 39,70
1/4 = 6,35	45/64 = 17,86	15/8 = 41,30
17/64 = 6,75	23/32 = 18,26	111/16 = 42,90
9/32 = 7,14	47/64 = 18,65	13/4 = 44,40
19/64 = 7,54	3/4 = 19,05	113/16 = 46,00
5/16 = 7,94	49/64 = 19,45	17/8 = 47,60
21/64 = 8,33	25/32 = 19,84	115/16 = 49,20
11/32 = 8,73	51/64 = 20,24	2 = 50,80
23/64 = 9,13	13/16 = 20,64	
3/8 = 9,53	53/64 = 21,03	

ANEXO C

MÉTODO DE ENSAYO

ANEXO C1

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
En Vinculación Organizativa de Loja

AASHTO T99-01 ASTM D698

COMPACTACIÓN CON PROCTOR ESTANDAR

Ministerio de Transporte y Obras Públicas

COMPETENCIAS TÉCNICAS DE LABORATORISTA EN
VALIDAD – GRADO I

PROGRAMA CERTIFICADO VIAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
En Vinculación Organizativa de Loja

ALCANCE

Este método, describe el procedimiento para la determinación de la relación entre el contenido de humedad y la densidad de los suelos compactados en un molde de tamaño dado, con un pisón de 2.5 kg (5.5 lb) que cae de una altura de 305 mm (12 pulg).

Ministerio de Transporte y Obras Públicas

COMPETENCIAS TÉCNICAS DE LABORATORISTA EN
VALIDAD – GRADO I

PROGRAMA CERTIFICADO VIAL

PROCEDIMIENTOS

Existen cuatro procedimientos alternativos:

Método A.- Con un molde de 101.60mm (4pulg) de diámetro y material pasante del tamiz de 4.75mm (Nº 4).

Método B.- Con un molde de 152.40mm (6pulg) de diámetro y material pasante del tamiz de 4.75mm (Nº 4).

Método C.- Con un molde de 101.60mm (4pulg) de diámetro y material pasante del tamiz de 19.0mm (¾ pulg).

Método D.- Con un molde de 152.40mm (6pulg) de diámetro y material pasante del tamiz de 19.0mm (¾ pulg).

Ministerio de Transporte y Obras Públicas

COMPETENCIAS TÉCNICAS DE LABORATORISTA EN
VALIDAD – GRADO I

PROGRAMA CERTIFICADO VIAL

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Construye al Topo

EQUIPOS

Moldes.- Serán cilíndricos de paredes sólidas hechos de metal de 4 pulgadas y 6 pulgadas. Con un collar ajustable aproximadamente de 50 mm (2 pulg) de altura y una placa metálica de base perforada.

Pisón de Metal: cara plana circular de 2 pulg de diámetro, y una masa de (5.5 0.02)lb. Altura de caída libre 12 pulg

Dispositivo extractor de muestra.- Un dispositivo para la extracción de muestras compactadas.







 Ministerio de Transporte y Obras Públicas
 COMPETENCIAS TÉCNICAS DE LABORATORISTA EN VIALIDAD – GRADO I


UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Construye al Topo

EQUIPOS

Balanza.- acuerdo los requerimientos de la norma AASHTO M231.

Horno.- Termostáticamente controlado capaz de mantener una temperatura de (110 5)°C (230 9)°F para el secado de las muestras.

Tamices.- de 50mm (2pulg), 19mm (¾ pulg), y 4.75mm (N°4) conforme al requerimiento de norma AASHTO M 92.







 Ministerio de Transporte y Obras Públicas
 COMPETENCIAS TÉCNICAS DE LABORATORISTA EN VIALIDAD – GRADO I


UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Construye al Topo

METODO A

Procedimiento de muestreo:

Si la muestra de suelo está húmeda cuando se recibe del campo, séquela hasta que se ponga desmenuzable al introducir una espátula. El secado puede hacerse al aire o en un horno que mantenga una temperatura que no exceda los 60°C (140°F).

Tamice una cantidad adecuada de suelo pulverizado sobre el tamiz de 4.75mm (N°4). Deseche el material grueso, si alguno es retenido en el tamiz de 4.75mm (N°4).






 Ministerio de Transporte y Obras Públicas
 COMPETENCIAS TÉCNICAS DE LABORATORISTA EN VIALIDAD – GRADO I


PROCEDIMIENTO

- Seleccione una muestra representativa, con una masa aproximada de 3 kg (7 lb) o más del suelo.
- Mezcle la muestra seleccionada con agua para humedecerla hasta aproximadamente 4% por debajo del contenido de humedad óptimo.
- Deje la muestra en reposo en un recipiente herméticamente cerrado por un tiempo mínimo, como lo especifica la tabla N°1.

Tabla N° 1 Tiempo de reposo para muestras húmedas

Clasificación	Tiempo mínimo de reposo (h)
GW, GP, SW, SP	Ningún requisito
GM, SM	3
Todos los demás suelos	16



PROCEDIMIENTO

Forme un espécimen compactando el suelo preparado en el molde de 101.6mm (4pulg) con collar, en tres capas aproximadamente iguales, para una altura total compactada de 125 mm (5pulg).



Compacte cada capa con 25 golpes del pisón distribuidos uniformemente. Dejándolo caer libremente desde una altura de 305 mm sobre la altura del suelo compacto



PROCEDIMIENTO

- Luego de la compactación, remueve el collar de extensión quitando el material adherido en el collar.
- Con cuidado recorte el suelo excedente compacto de la parte superior del molde usando el borde recto de la regla.
- Pese el molde con la muestra de suelo húmedo en kilogramos.



PROCEDIMIENTO

- Saque la muestra compactada del molde con la ayuda del dispositivo extractor de muestras.
- Realice un corte vertical por el centro. Tome dos muestras de material de una de las caras cortadas, pese inmediatamente.
- Coloque la muestra en el horno para determinar el contenido de humedad de acuerdo con la norma AASHTO T 265, registre los resultados.



- Desmenuce completamente la porción restante de la muestra moldeada hasta que se crea que pasa el tamiz de 4.75mm (N° 4) y júntelo con la porción restante de la muestra que se ensaya.
- Agregue suficiente agua para incrementar el contenido de humedad del suelo de 1 % a 2 % y repita el procedimiento antes indicado para cada incremento de agua.
- Continúe esta serie de determinaciones hasta que haya una disminución o no cambien la masa húmeda, W1 por metro cúbico (pie cúbico) del suelo compactado.



CÁLCULOS

Calcule el contenido de humedad y el peso unitario seco del suelo compactado para cada ensayo como sigue:

$$w = \frac{A - B}{B - C} * 100$$

$$W_1 = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen}}$$

$$W = \frac{W_1}{w + 100} * 100$$

w (%) = Contenido de humedad .

A = Peso del recipiente y suelo húmedo.

B = Peso del recipiente y suelo seco.

C = Peso del recipiente.

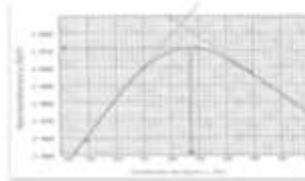
W1 = Densidad húmeda en kg/m³ del suelo compacto.

W = Densidad seca en kg/m³ del suelo compactado



RELACION HUMEDAD - DENSIDAD

La densidad del suelo deberá ser trazado como ordenadas y el contenido de humedad como abscisas.



Contenido de humedad óptimo.- El contenido de humedad correspondiente a la cima de la curva será el "contenido óptimo de humedad" del suelo bajo la compactación.

Densidad máxima.- La densidad en kg/m^3 correspondiente al contenido de humedad óptimo será la "densidad máxima" bajo la compactación.

ANEXO D
PLANOS DE LA MÁQUINA
COMPACTADORA DE SUELOS
(ELEMENTOS MÓVILES Y FIJOS,
DETALLES COSTRUTIVOS)

1

2

3

4

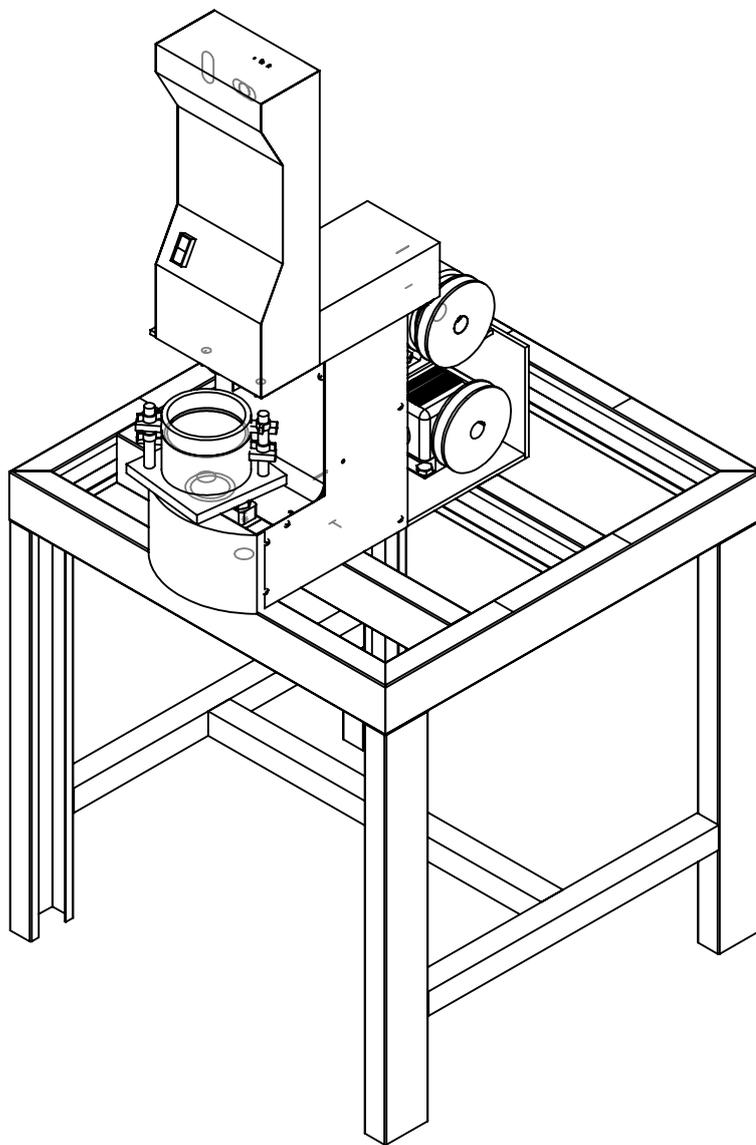
A

B

C

D

E



Tolerancia

(Peso)

Materiales:

 $\pm 0,1$

32.22 Kg

	Fecha	Nombre
Dib.	04/07/13	Alcocer.F
Rev.	04/07/13	Ing.Mg López G.
Apro.	04/07/13	Ing.Mg López G.

Denominación:

Escala:

MÁQUINA COMPACTADORA DE SUELOS

1:10

UTA

Número del dibujo: 01



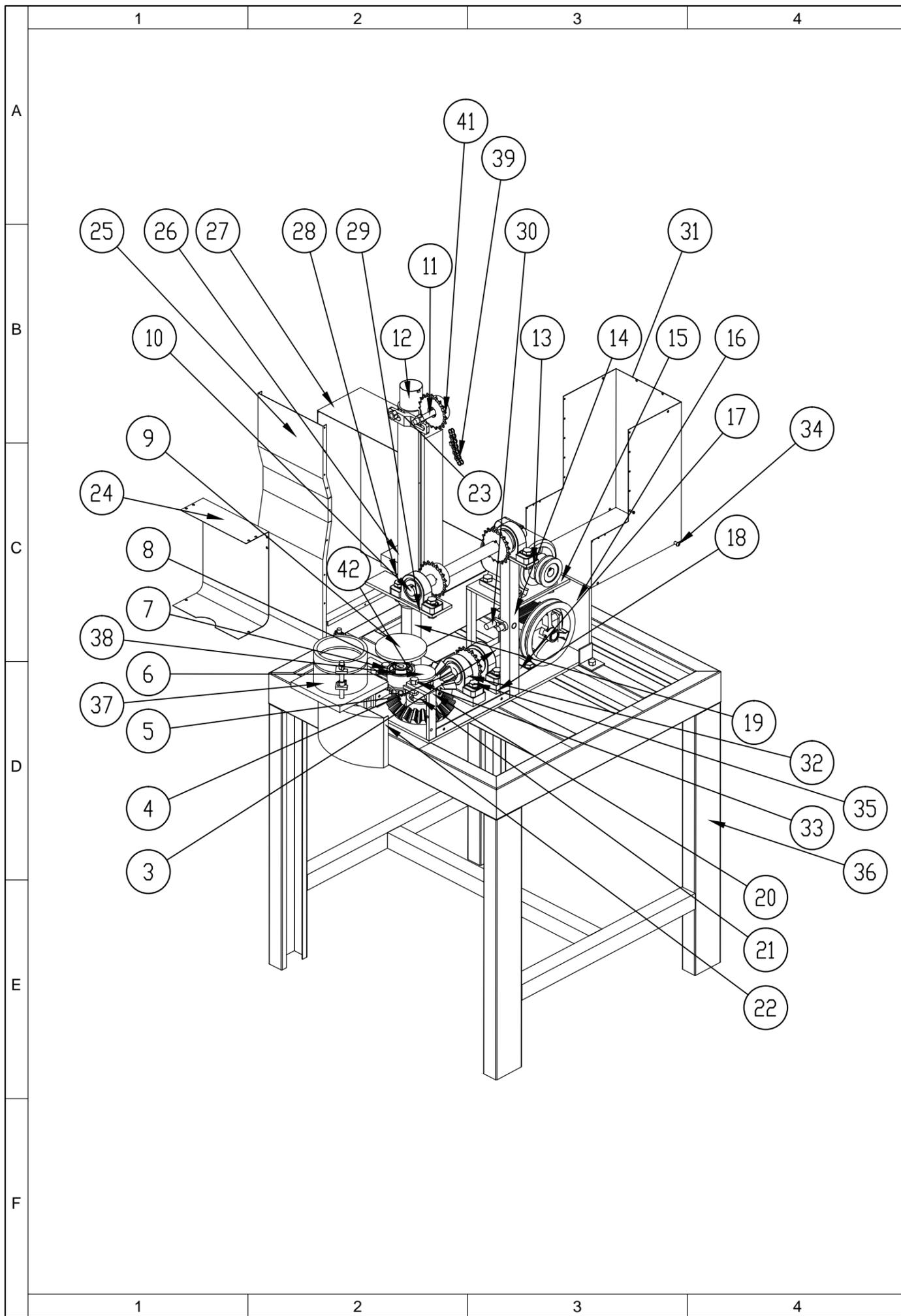
Edición

Modificación

Fecha

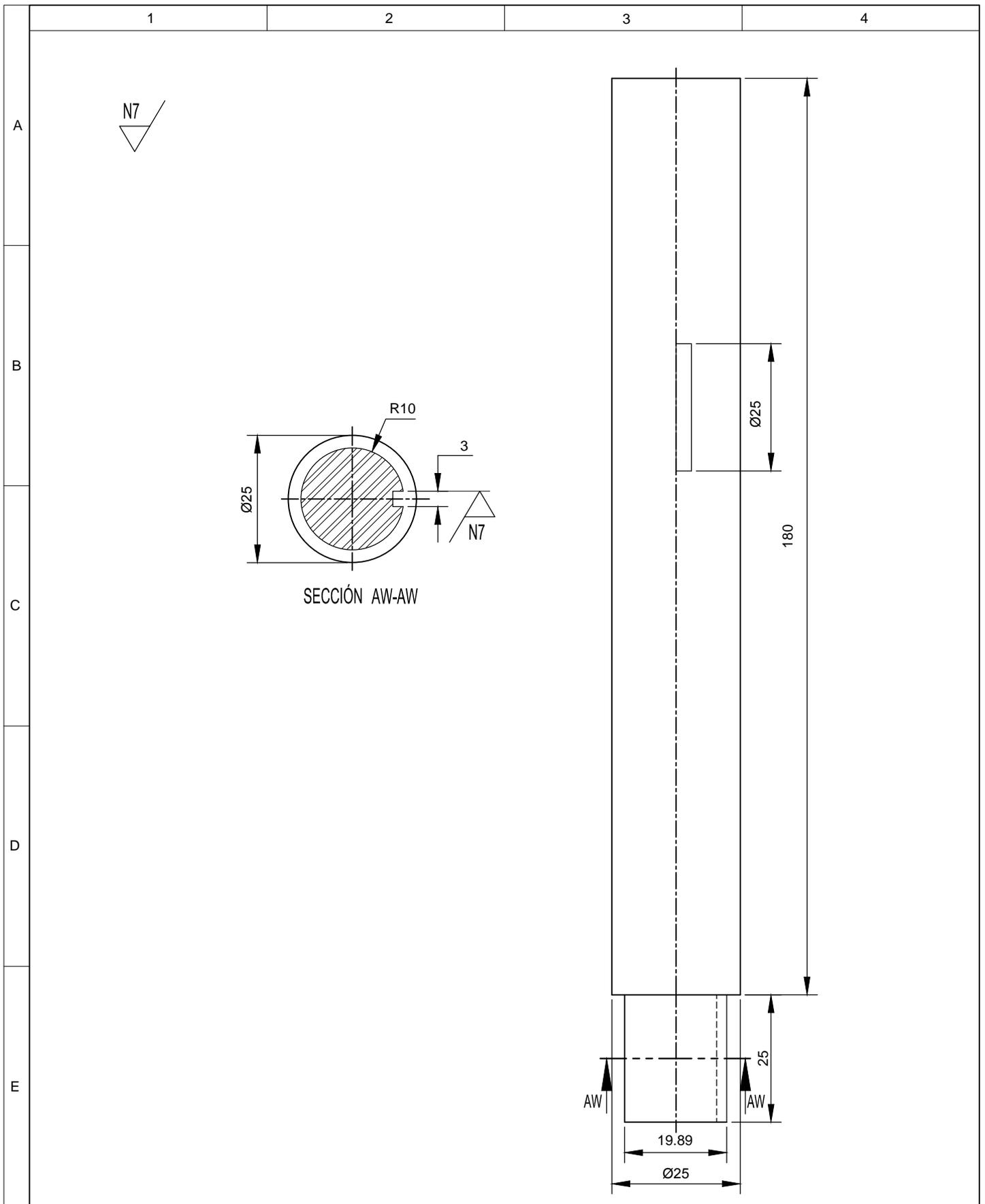
Nombre

(Sustitución)

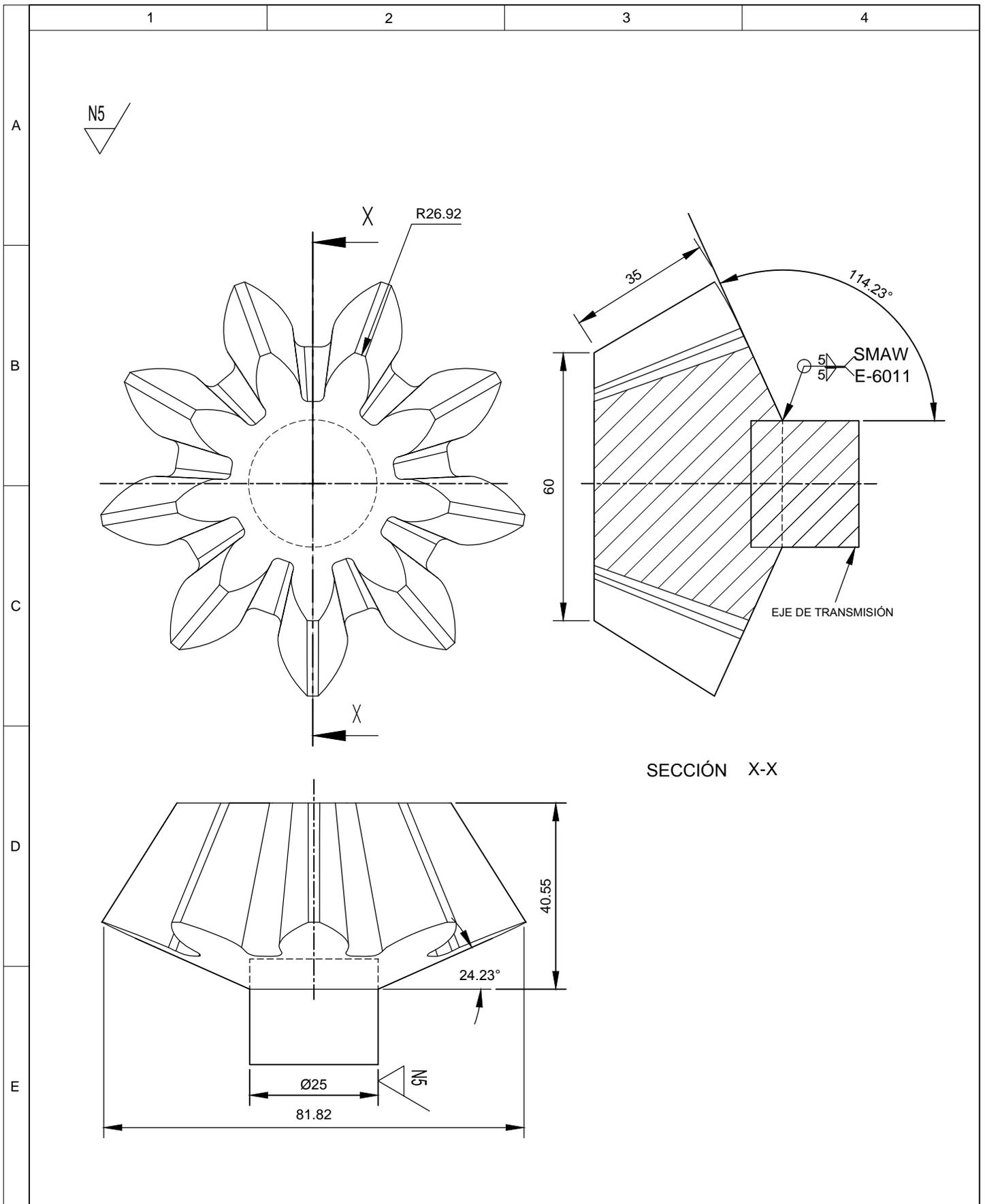


5		6		7		8
N° de OR	DENOMINACIÓN	N° DIBUJO	MATERIAL	CANTIDAD	PESO (KG)	OBSERVACIONES
42	SIMBRAS DE RETENCIÓN INTERNAS DE 25mm Y EXTERNAS DE 52 mm			8	0.02	ADQUIRIDO
41	PIÑÓN DE CADENA		DIN 8187	4	0.40	ADQUIRIDO
40	RODAMIENTO DE BASE D=52 d 25		ACERO DIN	2	0.20	ADQUIRIDO
39	CADENA	033	ACERO DIN	2	0.90	ADQUIRIDO
38	RODAMIENTO DE BASE D=52 d 25			3	0.13	ADQUIRIDO
37	MOLDE DE ENSAYOS PROCTOR		AISI 304	1	5.7	ADQUIRIDO
36	MESA DE APOYO(PERFIL C80X40X15)	034	ASTM A-36	1	0.35	ADQUIRIDO
35	PERNOS CON TUERCA 19(3/4" D1/2")		NC SA-193 B7	6		SOPORTE PARA CHUMACERAS Y TENSOR DE CADENA
34	TORNILLOS DE SUJECIÓN (1/8"x1/2")			18		TAPAS FRONTAL Y LATERAL
33	PERNOS CON TUERCA 16(5/8" D3/8")		NC SA-193 B7	6		SOPORTE PARA CHUMACERAS EN BASE SUPERIOR Y EN EL DISCO
32	CHUMACERAS FIJAS P205		FCD450	1	0.35	ADQUIRIDO
31	TAPA POSTERIOR (e=1/32")	0.32	ASTM A-36	1	0.03	CONSTRUÍDO
30	TENSOR INTERIOR	031	ASTM A-36	1	0.18	CONSTRUÍDO
29	BASE DE CHUMACERA SUPERIOR	030	ASTM A36	1	0.09	CONSTRUÍDO
28	SEGURO	029	ASTM A-36	1	0.35	CONSTRUÍDO
27	TAPA CADENA DEL TUBO	028	ASTM A-36	1	0.13	CONSTRUÍDO
26	TUBO GUÍA	027	ASTM A-53	1	0.04	CONSTRUÍDO
25	TAPA FRONTAL (e=1/32")	026	ASTM A-36	1	0.14	CONSTRUÍDO
24	TAPA FRONTAL INTERNA	025	ASTM A-36	2	0.11	CONSTRUÍDO
23	TENSOR DE CADENA	024	INEN 623	1	0.27	CONSTRUÍDO
22	TAPA FRONTAL INFERIOR	023	ASTM A-36	1	2.25	CONSTRUÍDO
21	EJE EMPOTRADO PARA ENGRANE	022	AISI 1018	1	0.22	CONSTRUÍDO
20	PIEZA DE SOPORTE DE DISCO	021	ASTM A-36	2	0.51	CONSTRUÍDO
19	BASE SOPORTE DEL TUBO	020	ASTM A-36	1	0.41	CONSTRUÍDO
18	ALSAS PARA CHUMACERAS	019	ASTM A-36	2	0.16	CONSTRUÍDO
17	BASE DE LA MÁQUINA	018	ASTM A-36	1	0.59	CONSTRUÍDO
16	SOPORTE LATERAL DE LA BASE DEL MOTOR	0.17	ASTM A-36	1	0.25	CONSTRUÍDO
15	BASE DEL MOTOR	016	ASTM A-36	1	1.38	CONSTRUÍDO
14	COLUMNA SOPORTE DE CHUMACERA	015	ASTM A-36	1	2.5	CONSTRUÍDO
13	PLACA BASE DE CHUMACERA	014	ASTM A-36	1	0.27	CONSTRUÍDO
12	PISÓN	012	AISI 304	1	2.5	CONSTRUÍDO
11	SOPORTE DEL PIÑÓN DE CADENA	011	ASTM A-36	1	0.18	CONSTRUÍDO
10	EJE DE CADENA	010	AISI 1018	1	13.08	CONSTRUÍDO
9	DISCO DE BASE	09	ASTM A-36	1	10	CONSTRUÍDO
8	SOPORTE DE BASE	08	ASTM A-36	1	0.05	CONSTRUÍDO
7	BASE DEL RODAMIENTO	07	ASTM A-36	1	0.39	CONSTRUÍDO
6	RUEDA IMPULSORA	06	ASTM A-36	1	0.50	CONSTRUÍDO
5	ENGRANE PRINCIPAL	05	UNSG43100	1	0.31	ADQUIRIDO
4	PIÑÓN PRINCIPAL	04	UNSG43100	1	0.08	ADQUIRIDO
3	EJE DE PIÑÓN	03	AISI 1018	1	0.75	CONSTRUÍDO

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	32.22 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib. 04/07/13	Alcocer.F	ELEMENTOS MÓVILES Y FIJOS	
				Rev. 04/07/13	Ing.Mg.López G.	Escala:	
				Apro. 04/07/13	Ing.Mg.López G.	1:10	
				UTA		Número del dibujo:	2 de 34
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

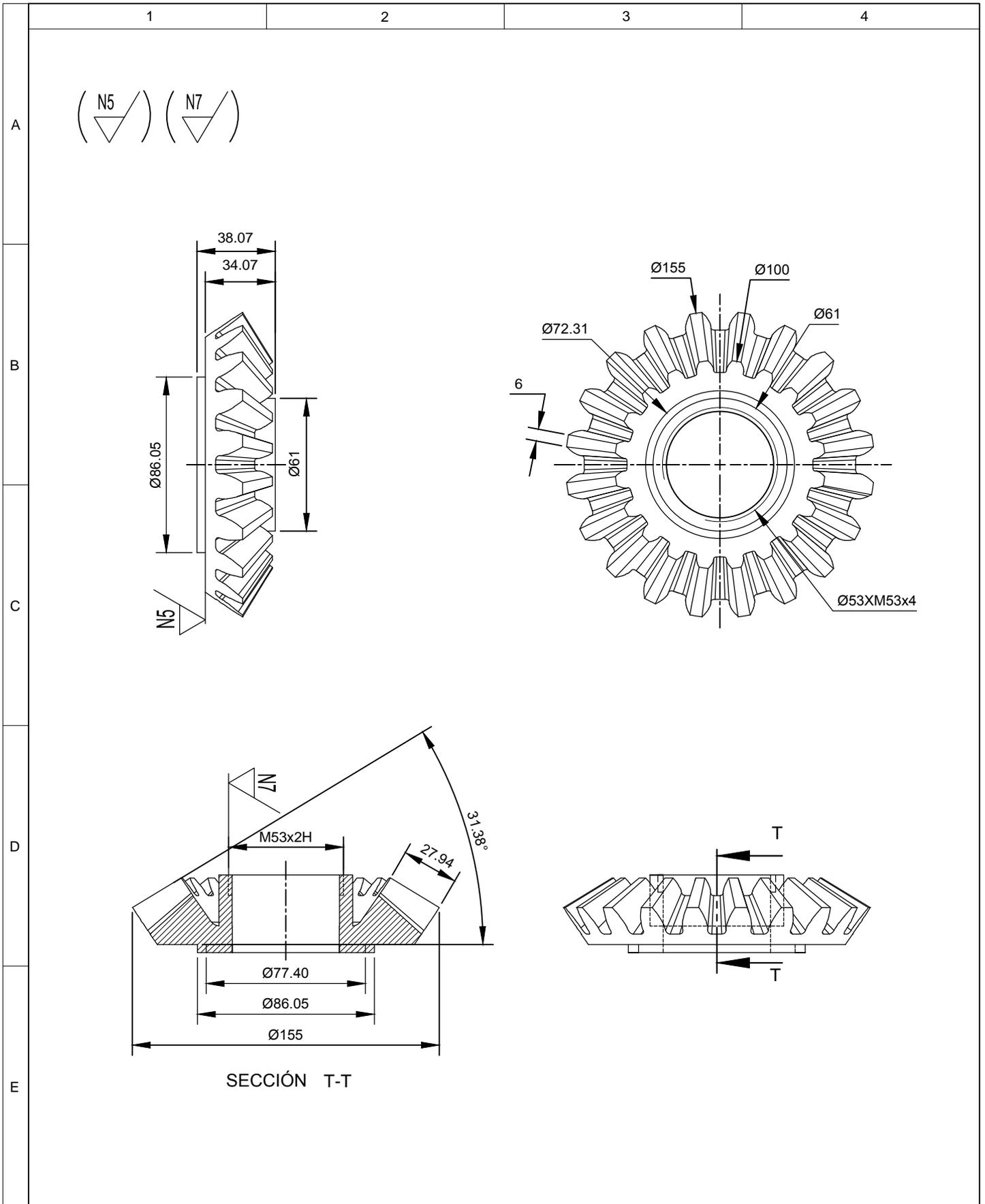


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		ACERO AISI 1018
				±0,1	0.75 Kg			
					Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	3 de 34	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

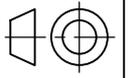


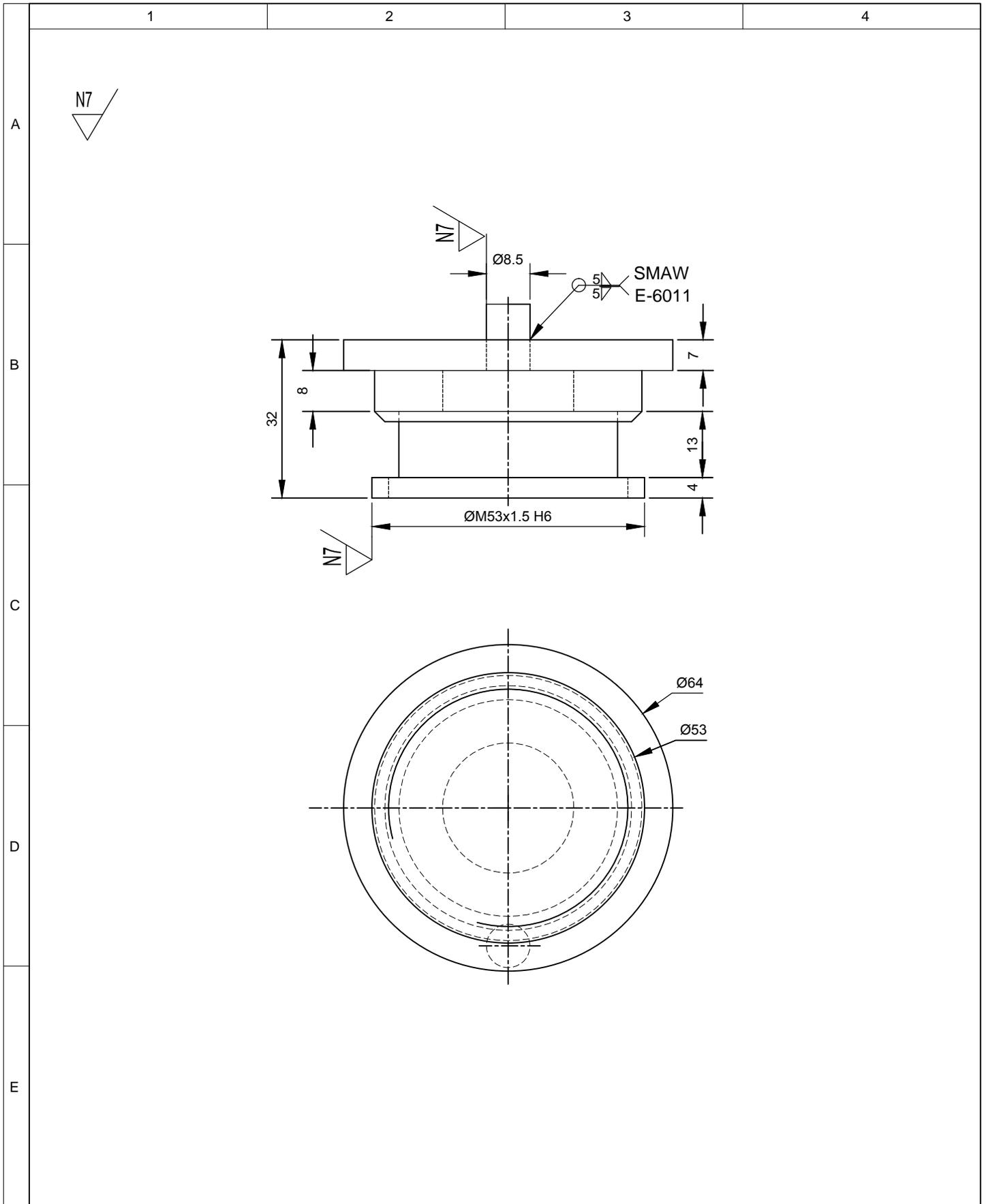
SECCIÓN X-X

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		ACERO UNG43100
				±0,1	0,08 Kg			
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F	PIÑÓN PRINCIPAL		1:1
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.			
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.			
				UTA		Número del dibujo:	4 de 34	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

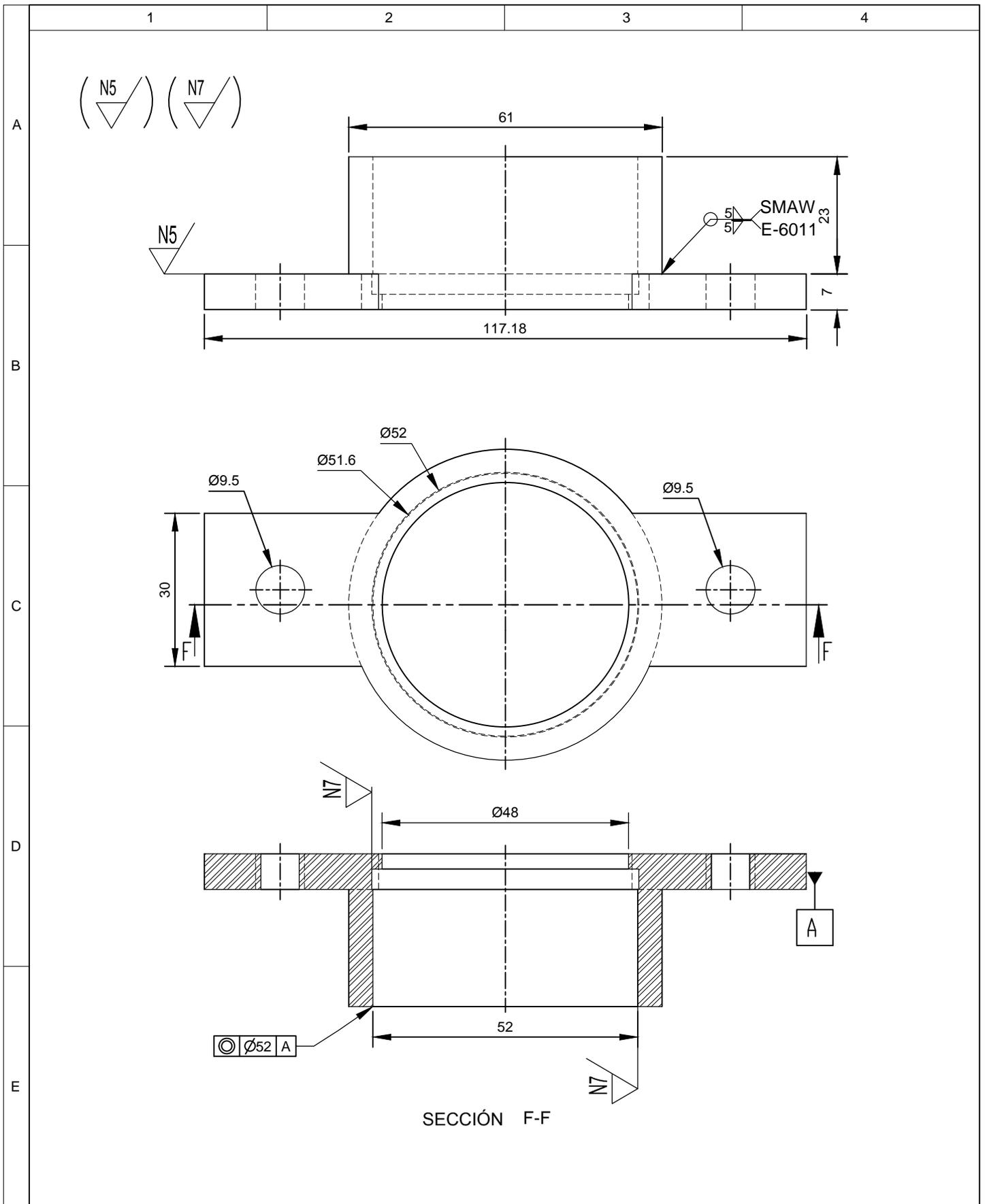


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		ACERO UNSG43100	
				±0,1	0.31 Kg	Denominación:		ENGRANE PRINCIPAL	
				Dib.	Fecha	Nombre	Número del dibujo:	5 de 34	
				Rev.	04/07/13	Alcocer.F			
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.			
				UTA			Escala:		1:2,5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Número del dibujo:		5 de 34
							(Sustitución)		

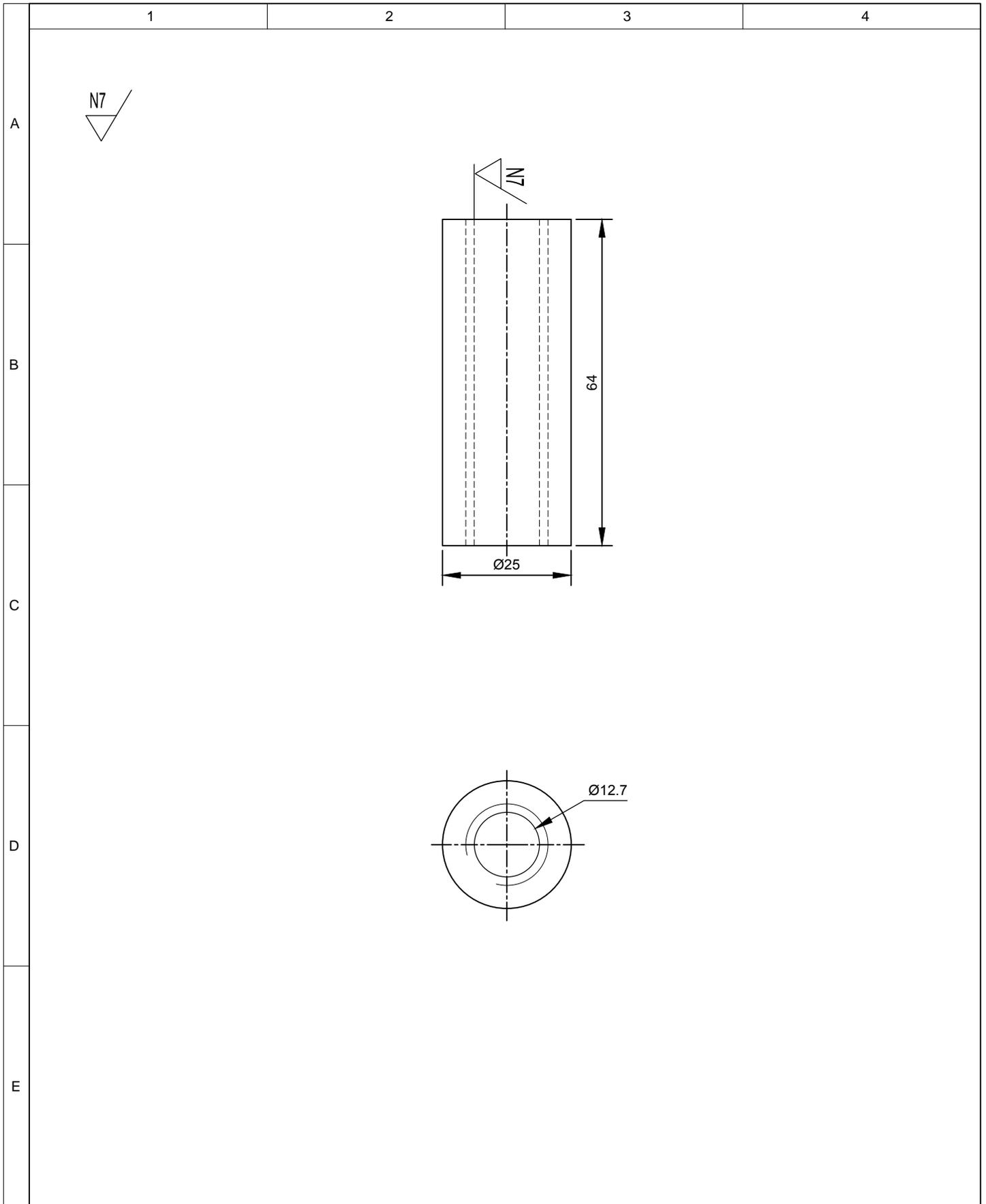




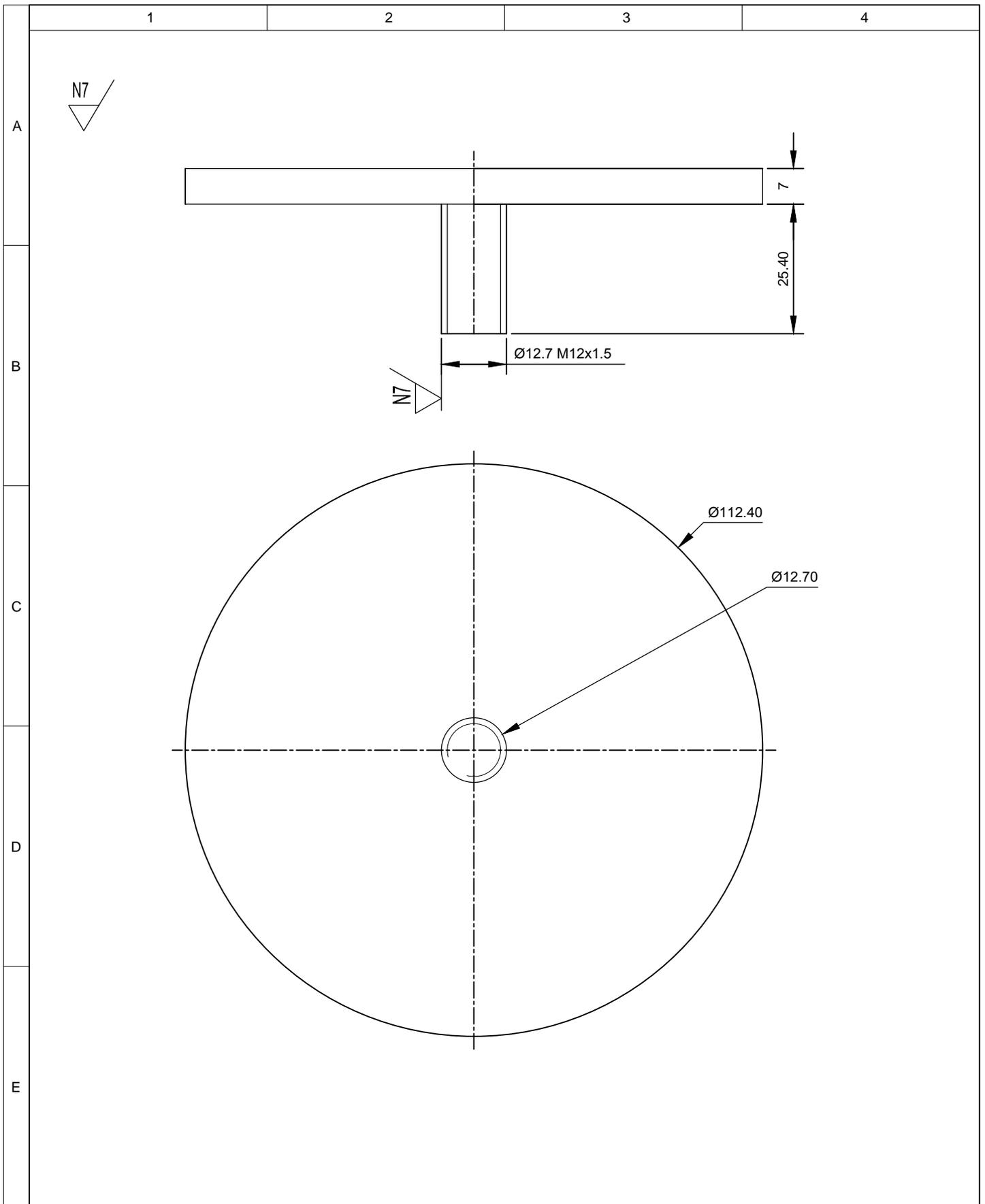
				Tolerancia ±0,1	(Peso) 0.50 Kg	Materiales: ACERO ASTM A36	
						Denominación: RUEDA IMPULSORA	Escala: 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dib. 04/07/13	Alcocer.F		
				Rev. 04/07/13	Ing.Mg. López G.		
				Apro. 04/07/13	Ing.Mg. López G.		
				UTA		Número del dibujo:	6 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



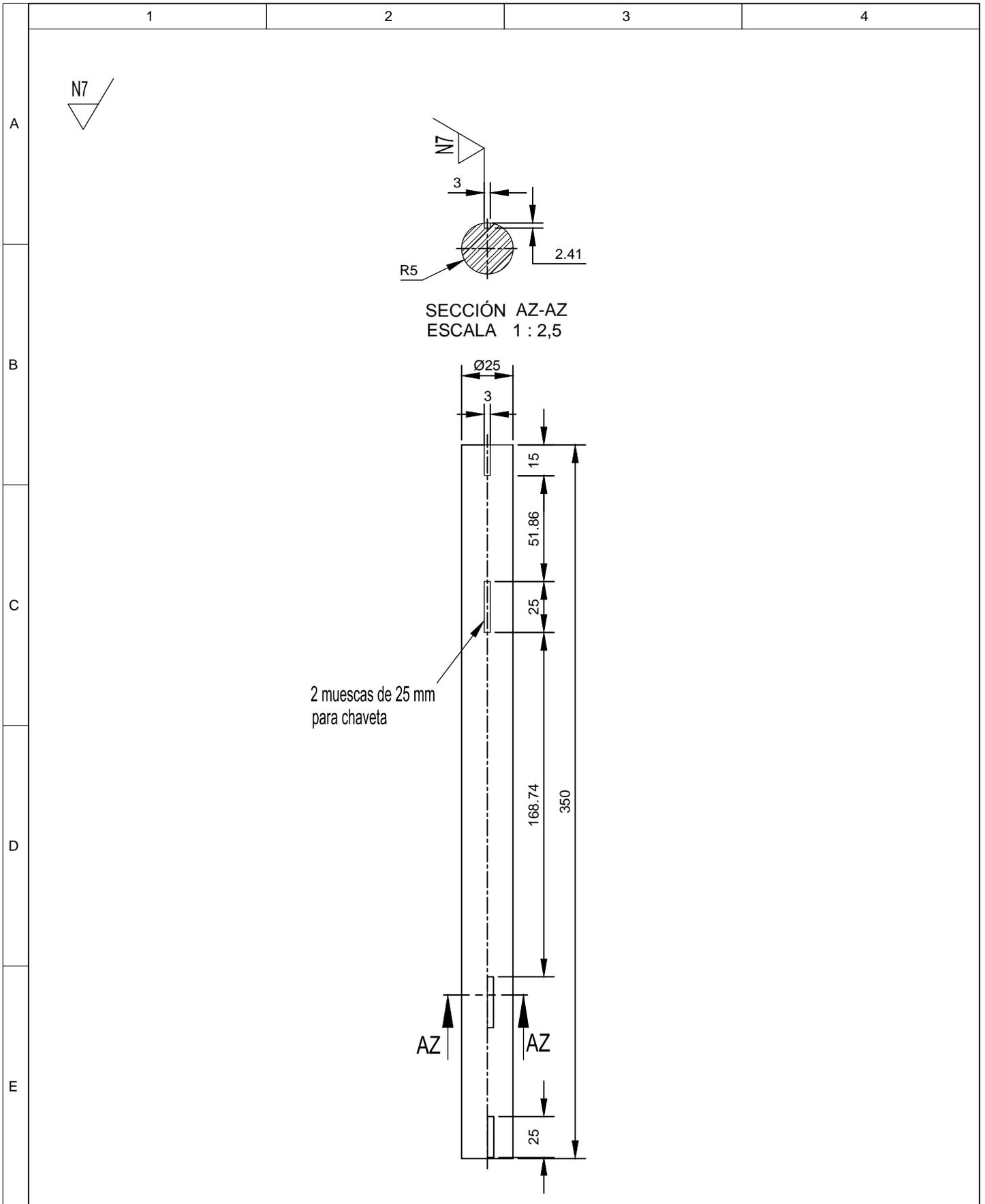
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		ACERO ASTM A-36
				±0,1	0.39 Kg			
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
			Dib.	05/06/13	Alcocer.F	BASE DEL RODAMIENTO		1:1
			Rev.	05/06/13	Ing.Mg López G.			
			Apro.	05/06/13	Ing.Mg López G.			
				UTA		Número del dibujo:	7 de 34	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



					Tolerancia $\pm 0,1$	(Peso) 0.05 Kg	Materiales: ACERO ASTM A-36		
							Denominación: SOPORTE DE BASE	Escala: 1:1	
					Fecha	Nombre			
				Dib.	04/07/13	Alcocer .F			
					Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
					Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
					UTA		Número del dibujo:	8 de 34	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			



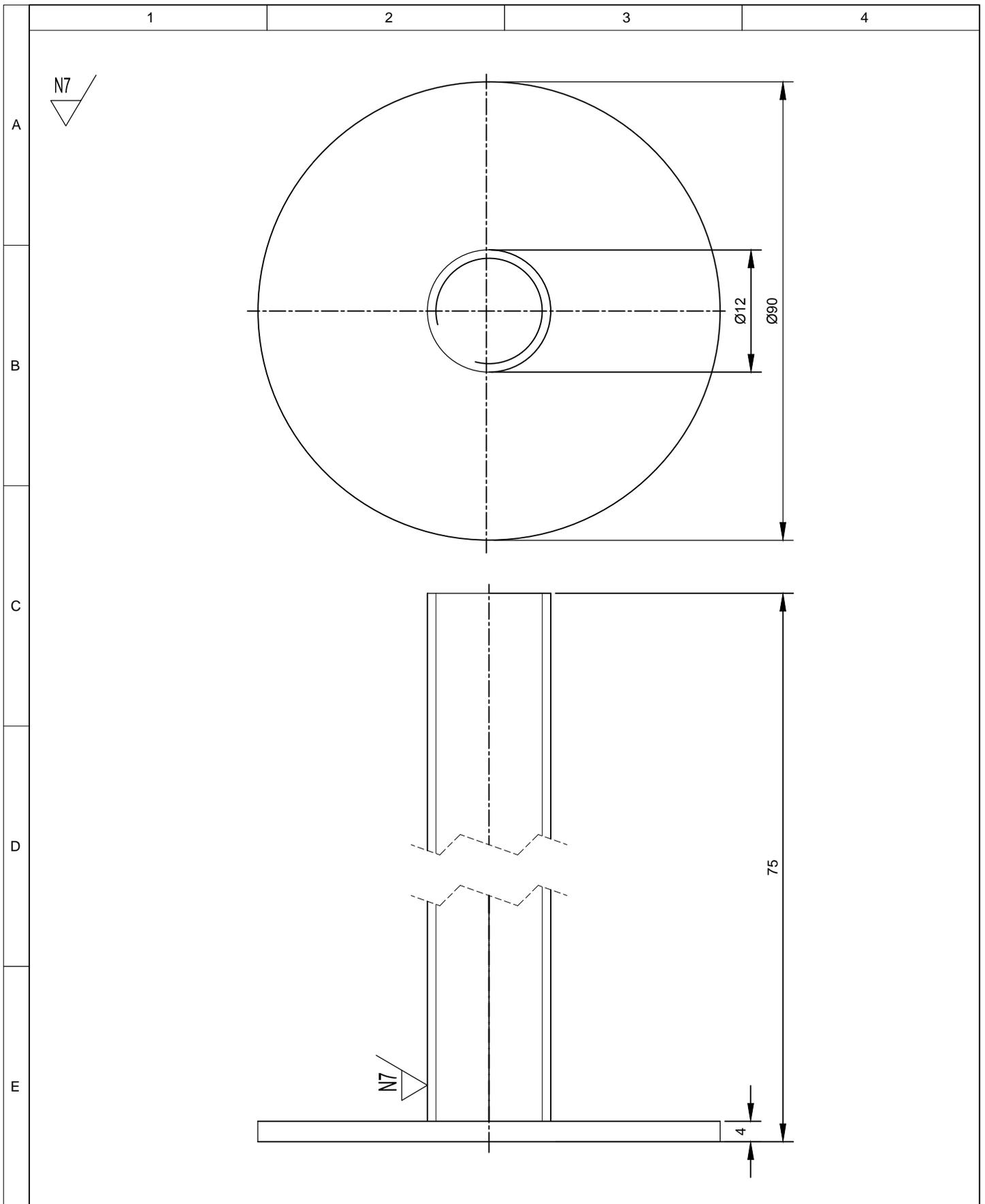
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	10 Kg	ACERO ASTM A-36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	04/07/13	Alcocer .F	
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg López G.	
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg López G.	
				UTA		Número del dibujo:	9 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:1	



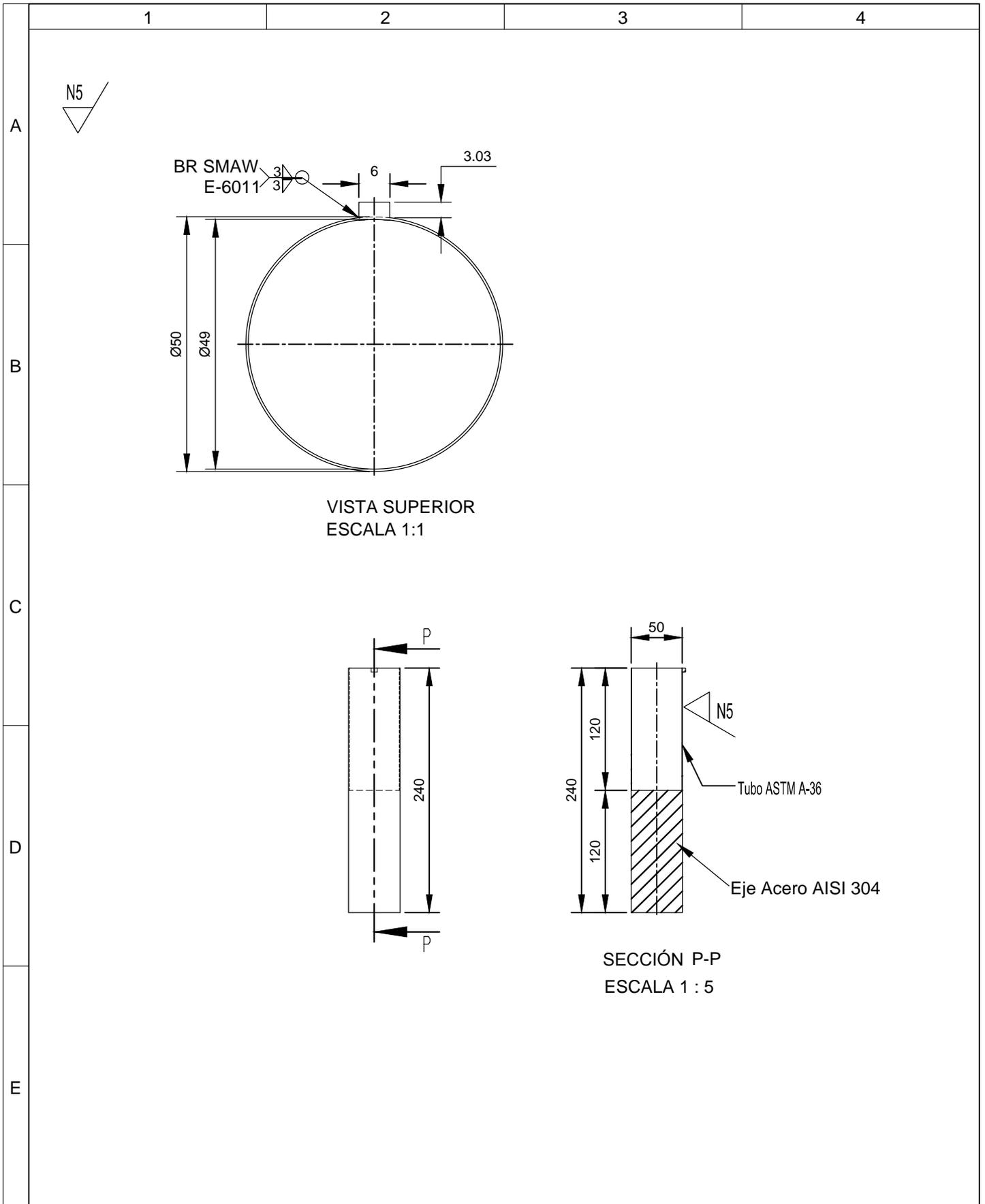
SECCIÓN AZ-AZ
ESCALA 1 : 2,5

2 muescas de 25 mm
para chaveta

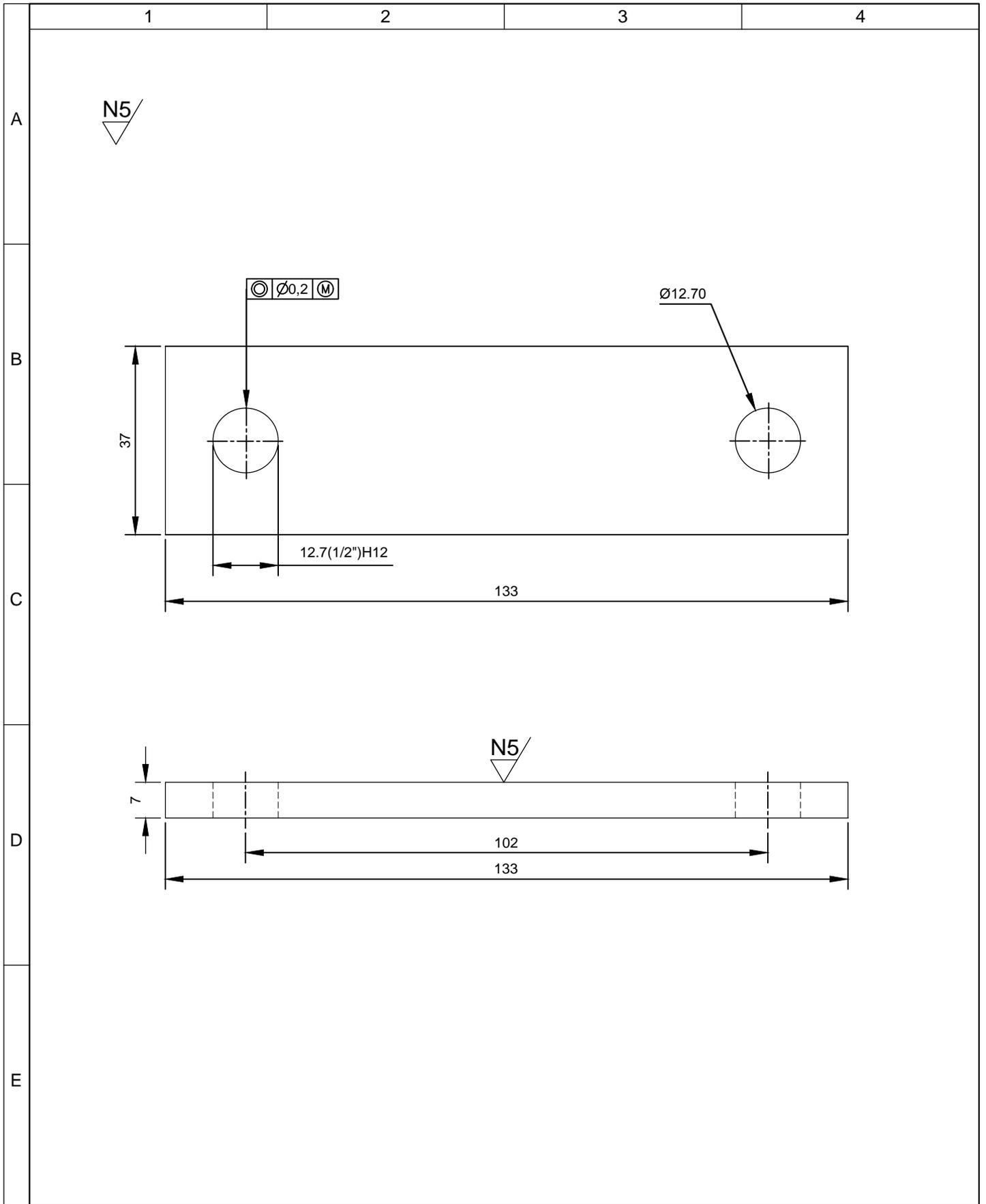
				Tolerancia ±0,1	(Peso) 13.08 Kg	Materiales: ACERO AISI 1018	
						Denominación: EJE DE CADENA	Escala: 1:2,5
				Fecha	Nombre		
				Dib.	04/07/13 Alcocer .F		
				Rev.	04/07/13 Ing.Mg.López G.		
				Apro.	04/07/13 Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	10 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A-36	
				±0,1	0.18 Kg		
					Fecha	Nombre	Denominación: SOPORTE DEL PIÑON DE CADENA
				Dib.	05/06/13	Alcocer.F	
				Rev.	05/06/13	Ing.Mg.López G.	
				Apro.	05/06/13	Ing.Mg.López G.	
				UTA		Número del dibujo:	11 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

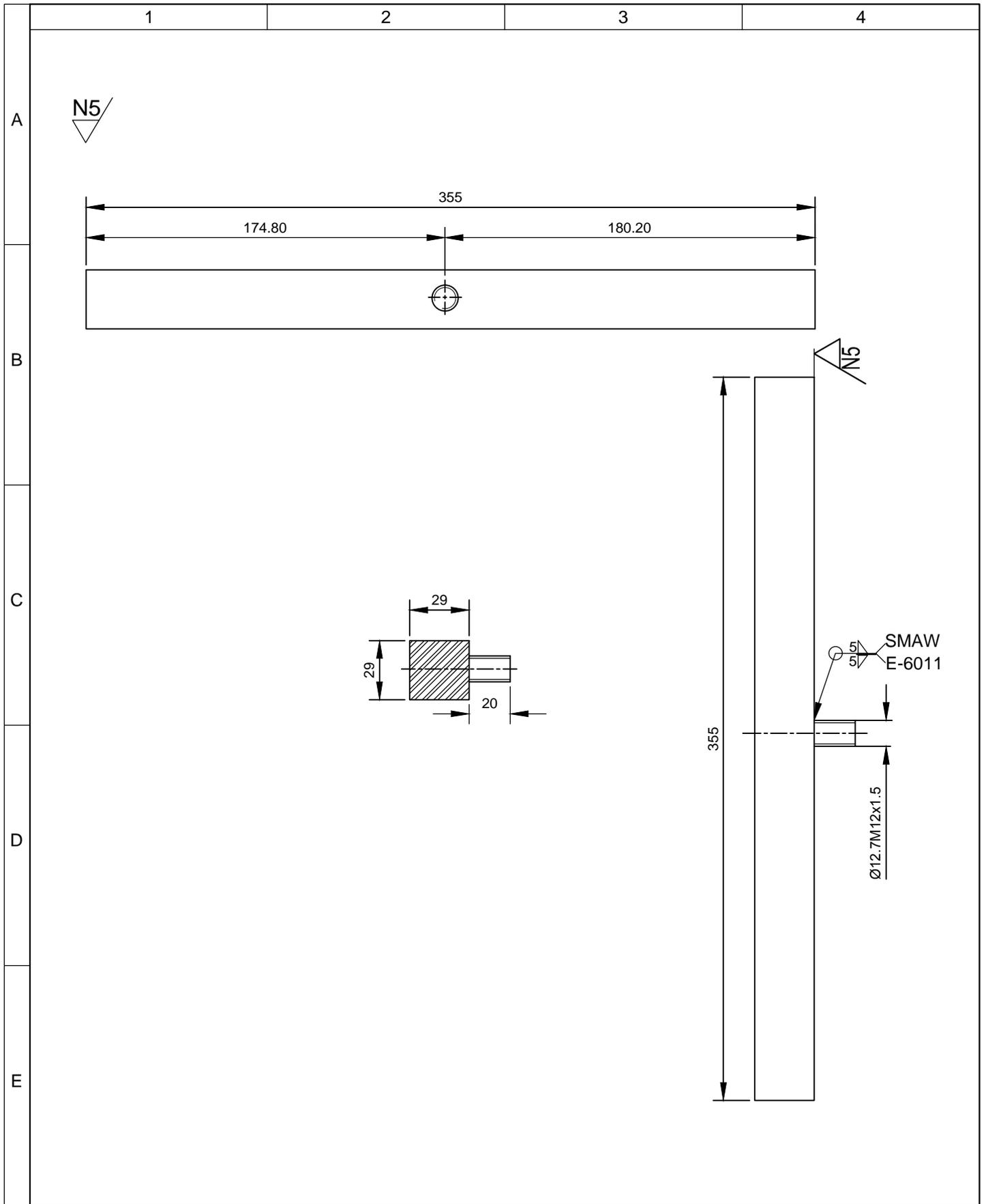


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		ACERO AISI 304
				±0,1	2.5 Kg			
					Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	12 de 34	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		

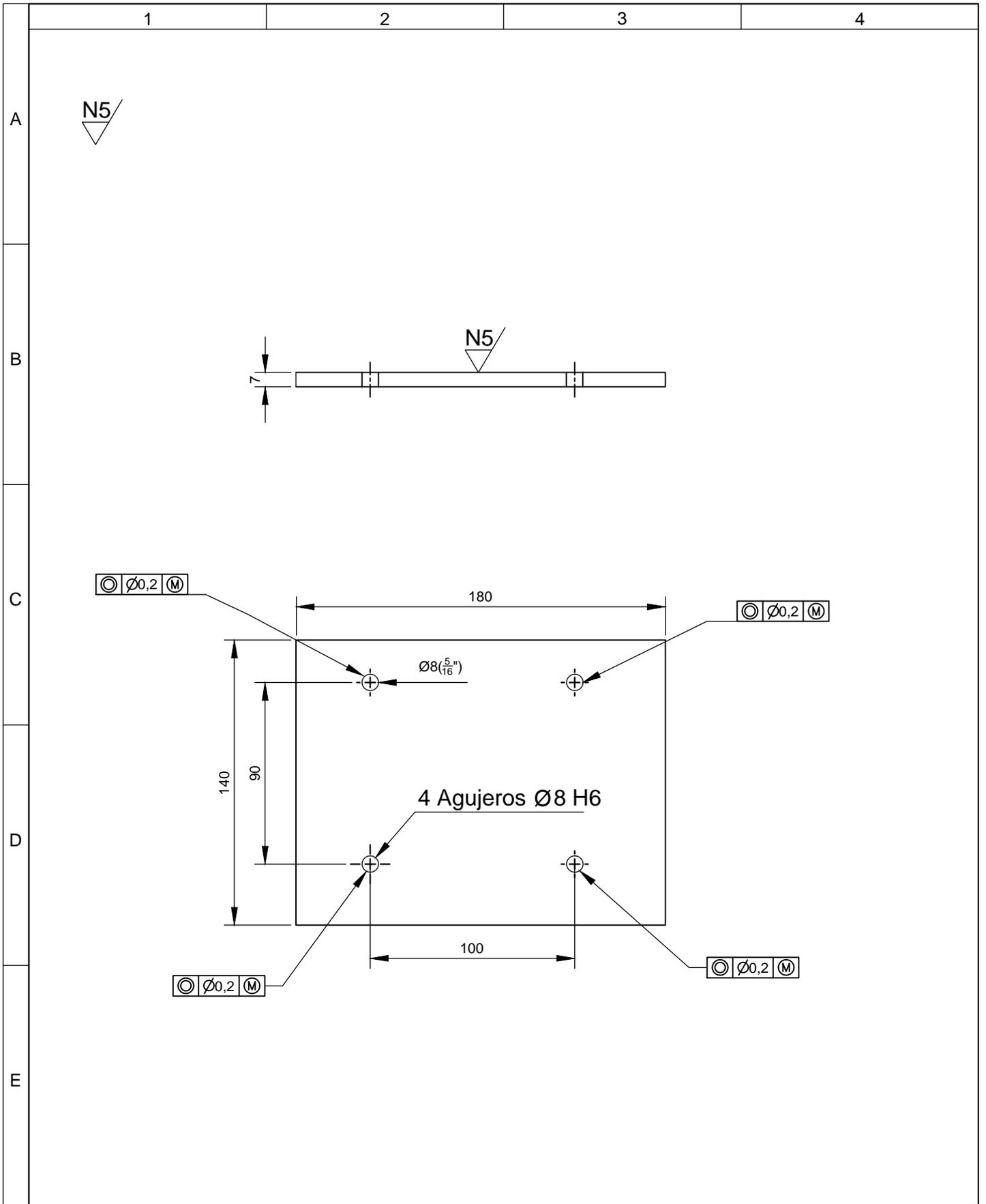


				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.27 Kg	PLANCHA DE ACERO ASTM A-36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	04/07/13	Alcocer .F	PLCA BASE DE CHUMACERA
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.	
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.	
				UTA		Número del dibujo:	14 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

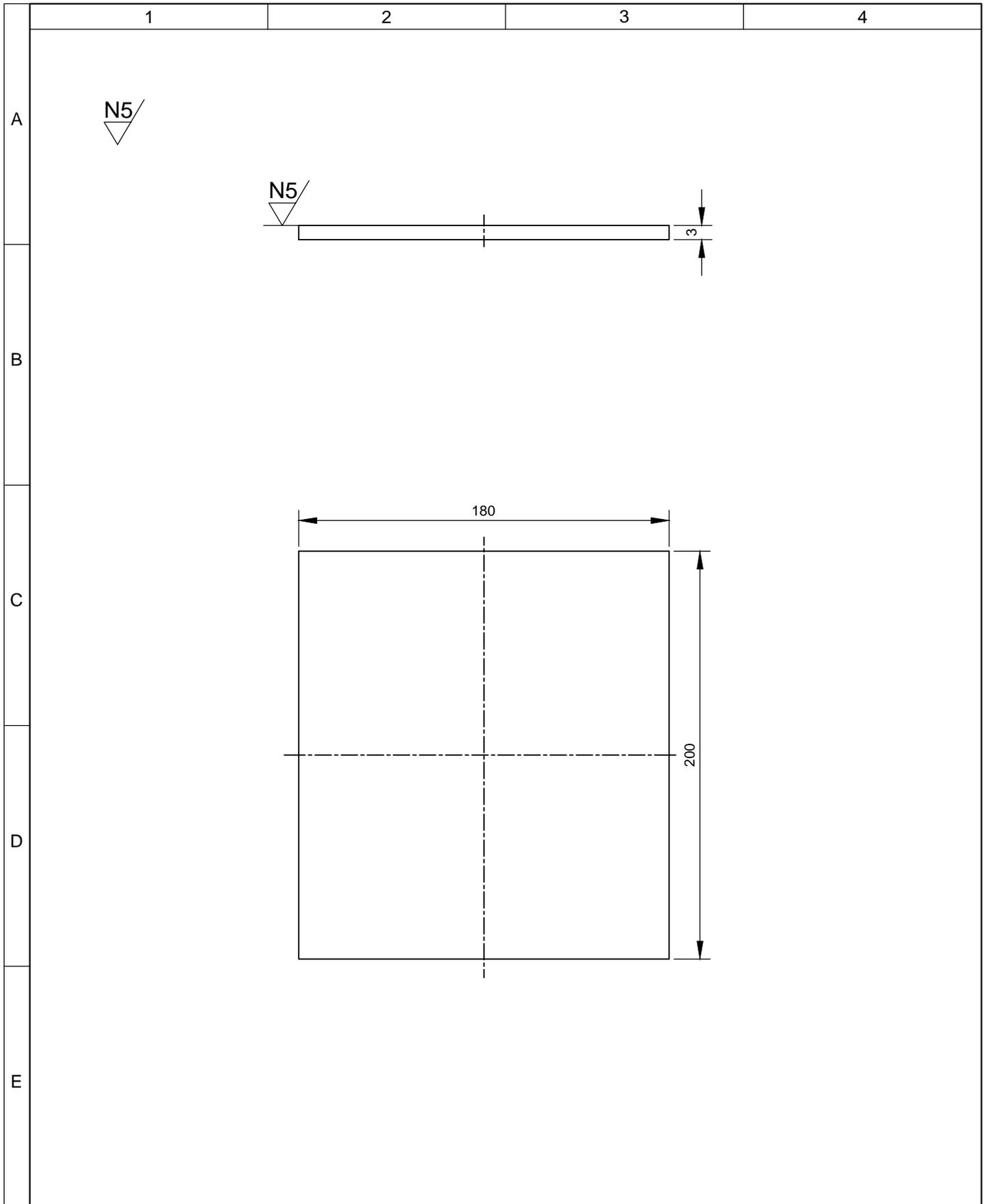
							Escala:
							1:1



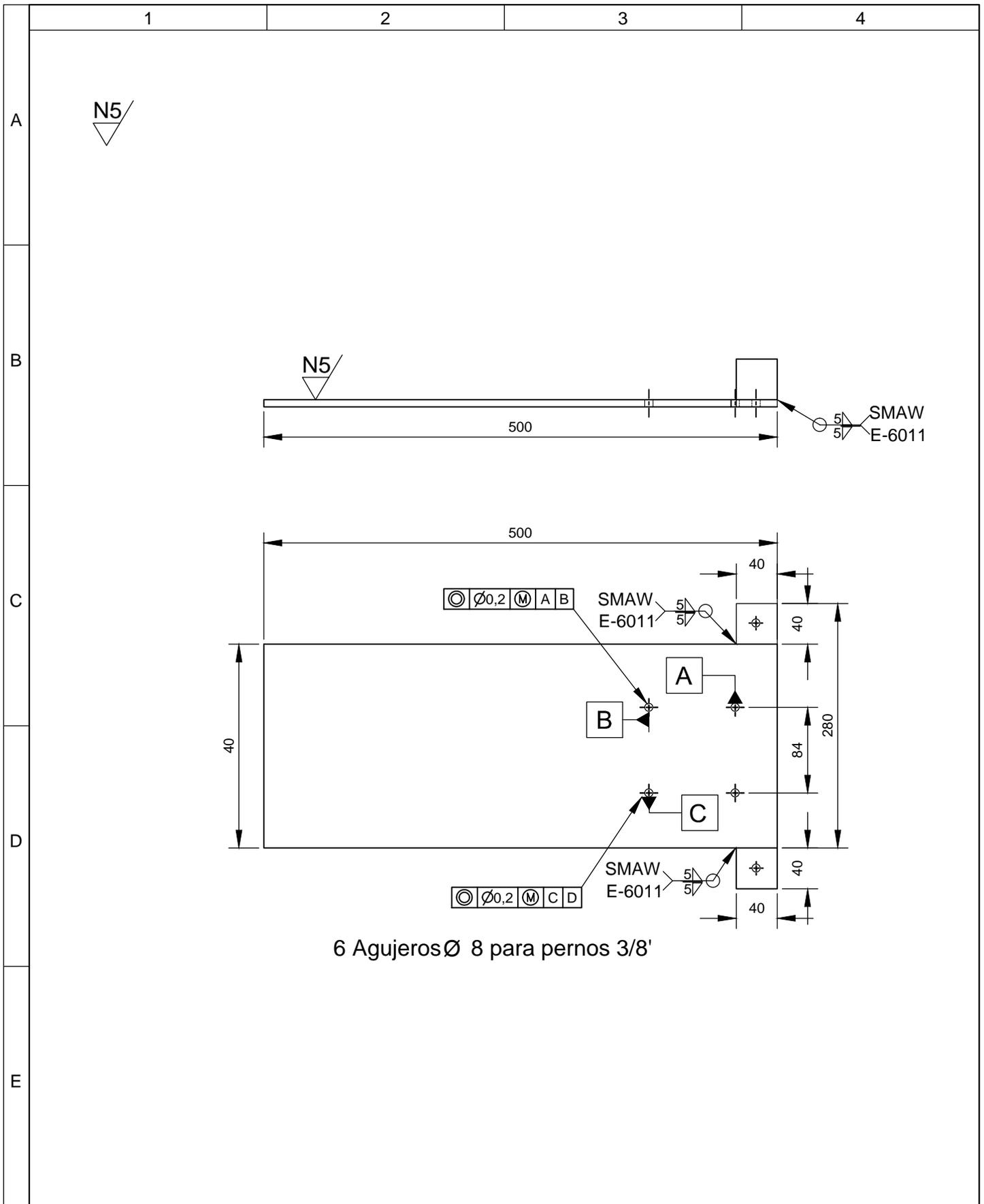
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: EJE CUADRADO ACERO ASTM A-36	
				±0,1	2.5 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: COLUMNA SOPORTE DE CHUMACERA	Escala: 1:2,5
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	15 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: PLANCHA DE ACERO ASTM A-36	
				±0,1	1.38 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: PLACA BASE DEL MOTOR	Escala: 1:2,5
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	16 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

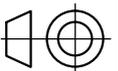


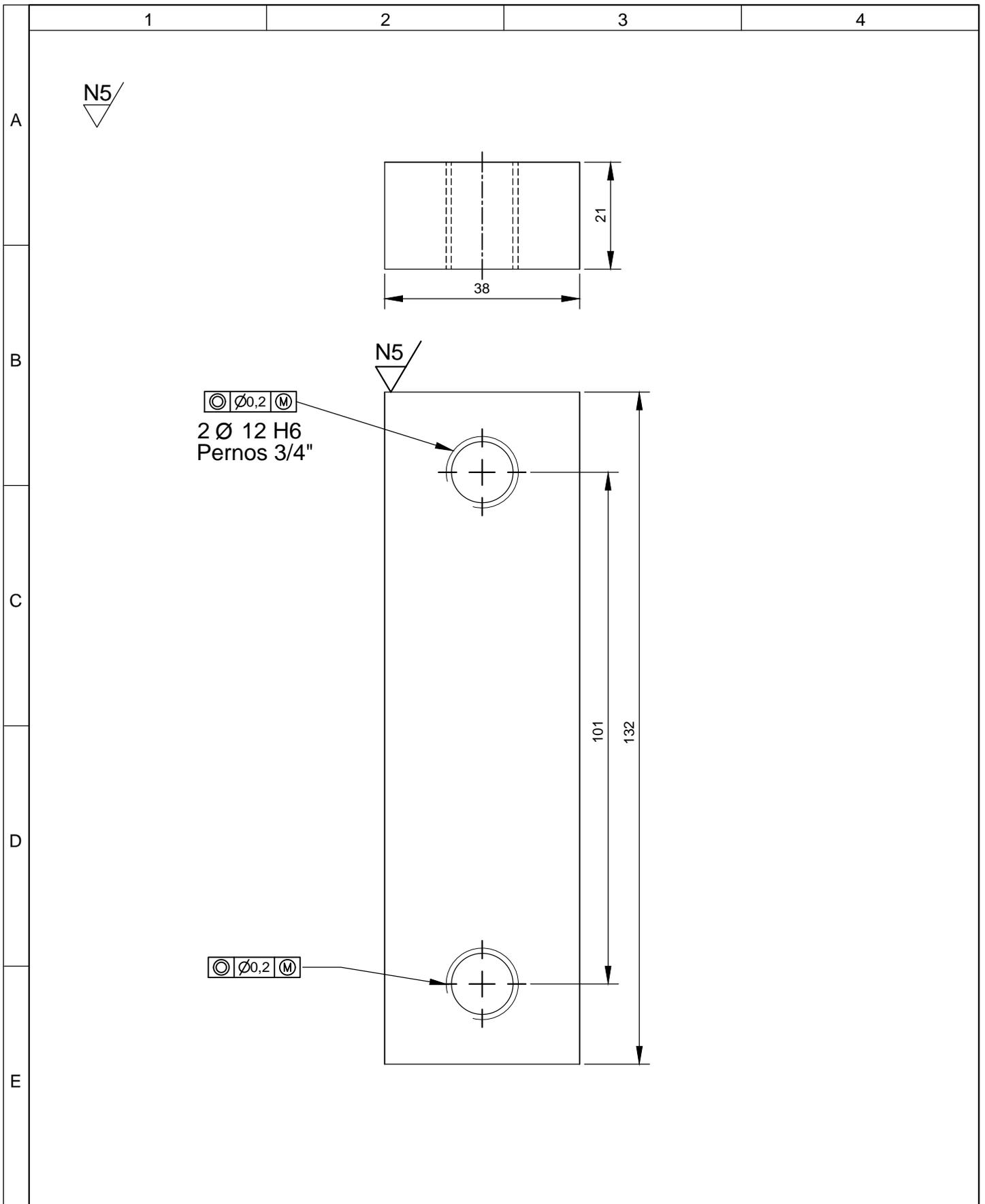
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: PLANCHA DE ACERO ASTM A-36				
				±0,1	0.25 Kg					
					Fecha	Nombre	Denominación: SOPORTE LATERAL DE LA BASE DEL MOTOR		Escala: 1:2,5	
				Dib.	04/07/13	Alcocer.F				
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.				
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.	Número del dibujo: 17 de 34			
Edi- ción	Modifi- cación	Fecha	Nombre	UTA						



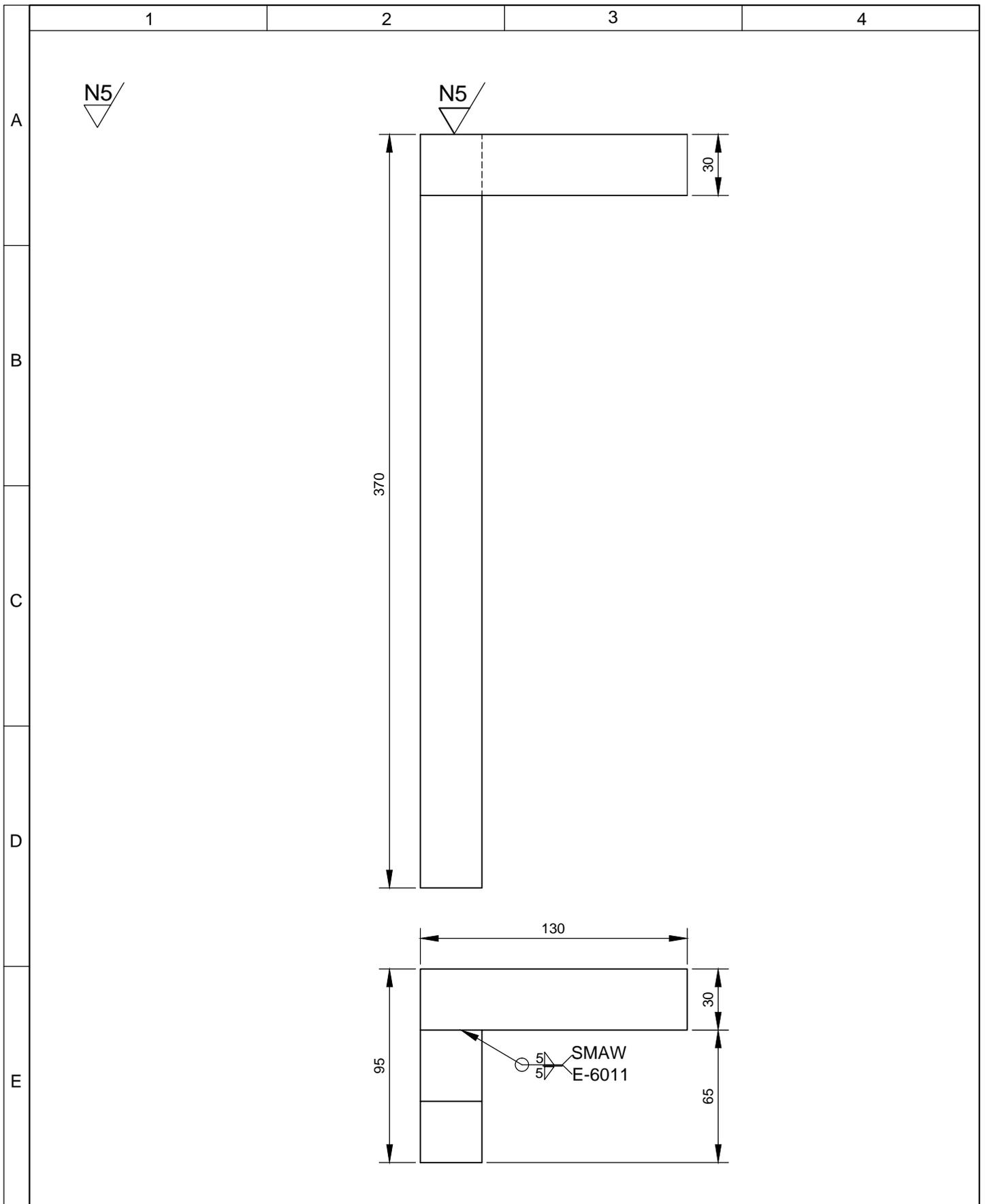
6 Agujeros \varnothing 8 para pernos 3/8'

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: PLANCHA DE ACERO ASTM A-36	
				$\pm 0,1$	0.59 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: BASE DE LA MÁQUINA	Escala: 1:5
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	18 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

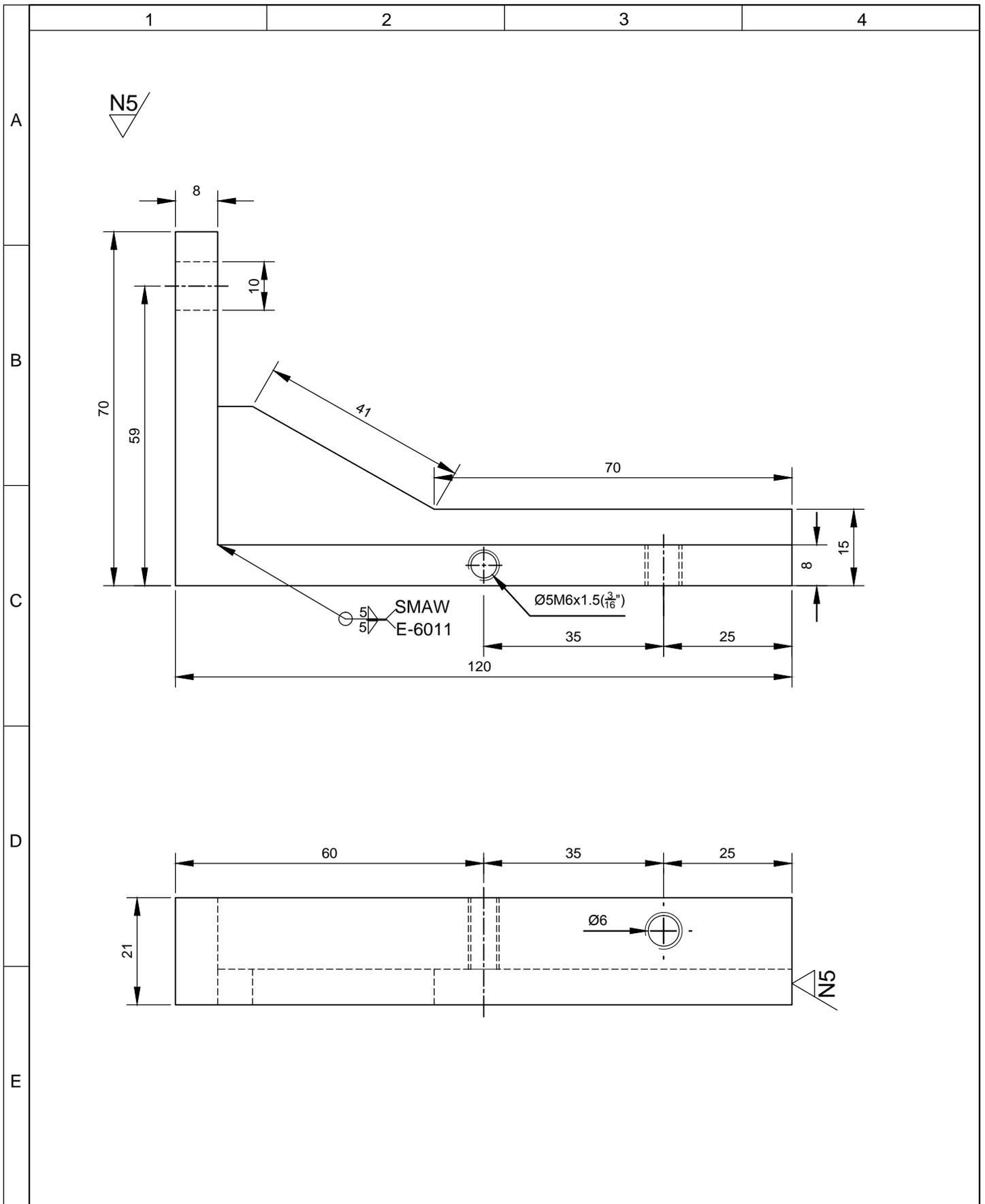




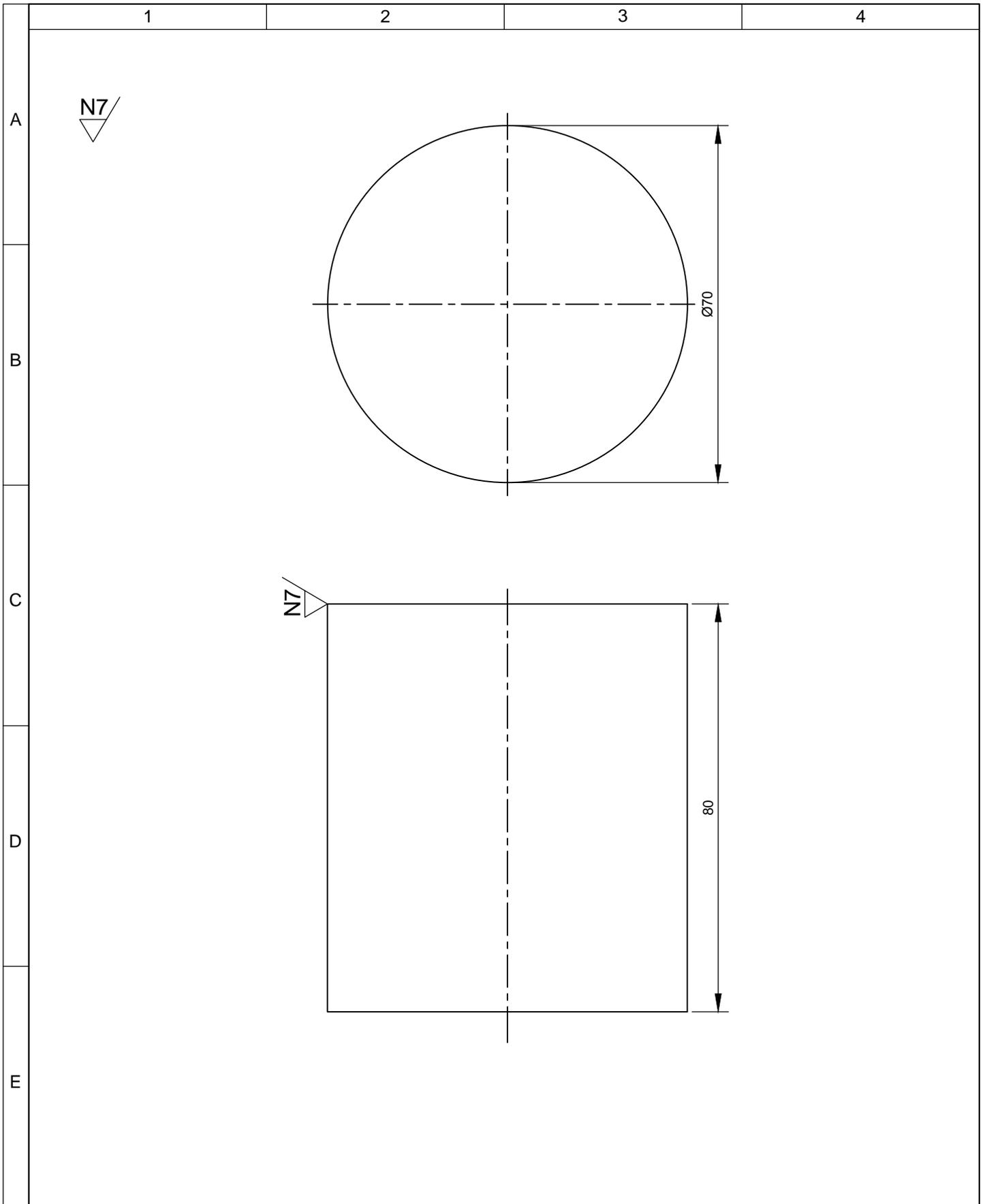
				Tolerancia ±0,1	(Peso) 0.16 Kg	Materiales: PLANCHA DE ACERO ASTM A-36	
						Denominación: ALZA DE CHUMACERA	Escala: 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dib. 04/07/13	Alcocer .F		
				Rev. 04/07/13	Ing.Mg.López G.	Número del dibujo: 19 de 34	
				Apro. 04/07/13	Ing.Mg.López G.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA		(Sustitución)	



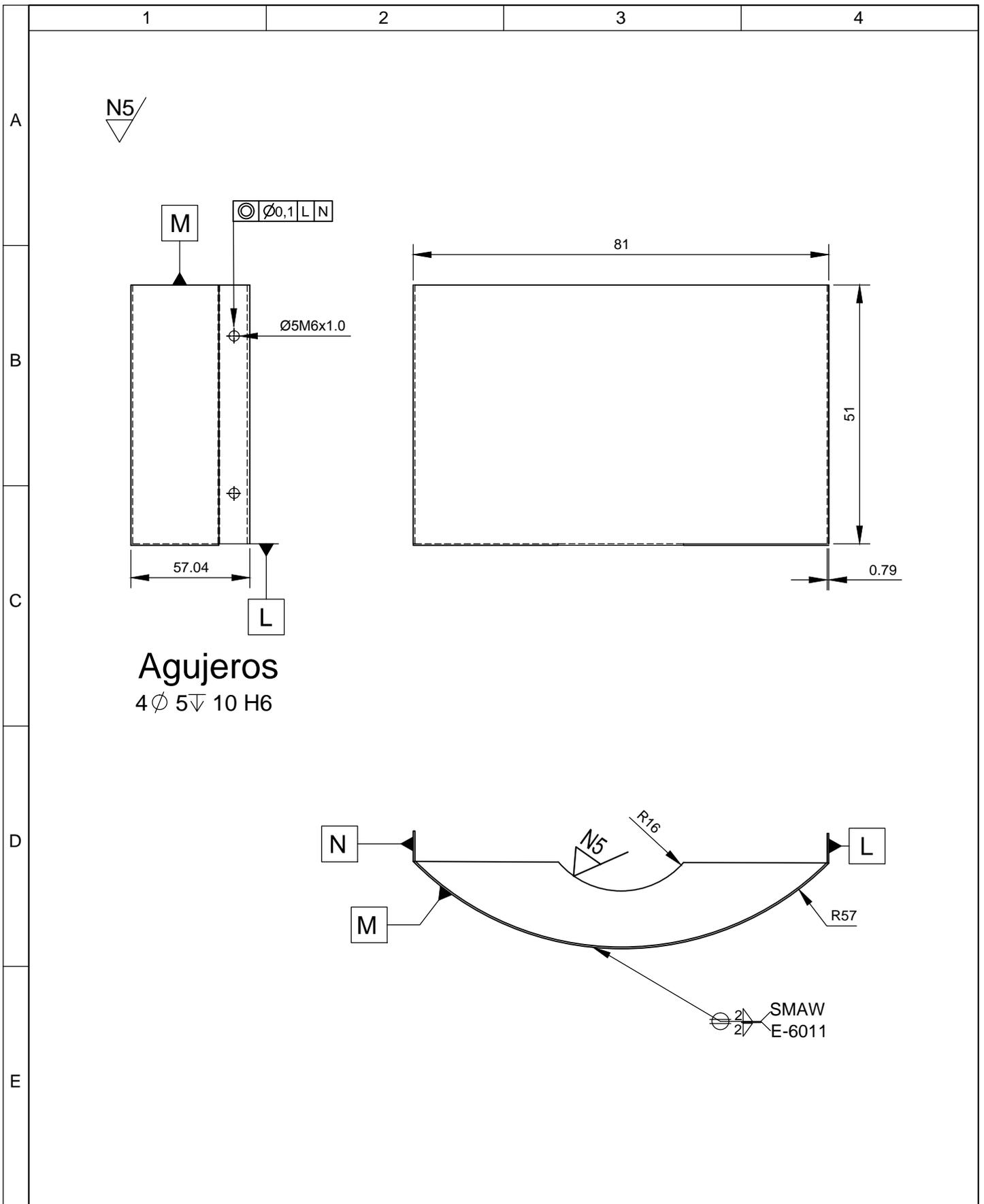
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: EJE DE ACERO ASTM A-36	
				±0,1	0.41 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: BASE SOPORTE DEL TUBO	Escala: 1:2,5
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo: 20 de 34	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



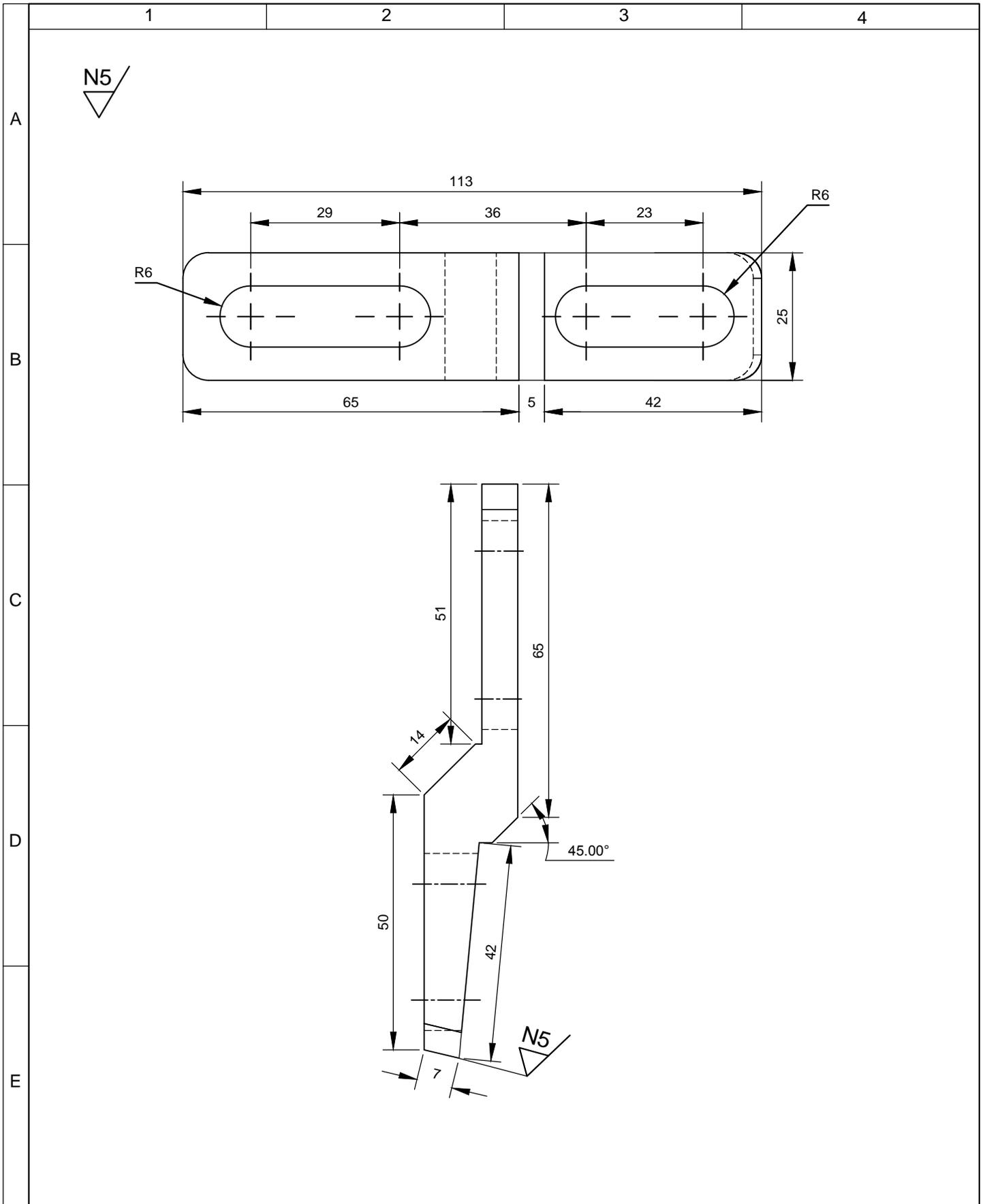
				Tolerancia ±0,1	(Peso) 0.51 Kg	Materiales: PLATINA ACERO ASTM A-36	
				Fecha	Nombre	Denominación: PIEZA DE SOPORTE DE DISCO	Escala: 1:1
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
			Rev.	04/07/13	Ing. López G.		
			Apro.	04/07/13	Ing. López G.		
				UTA		Número del dibujo:	21 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



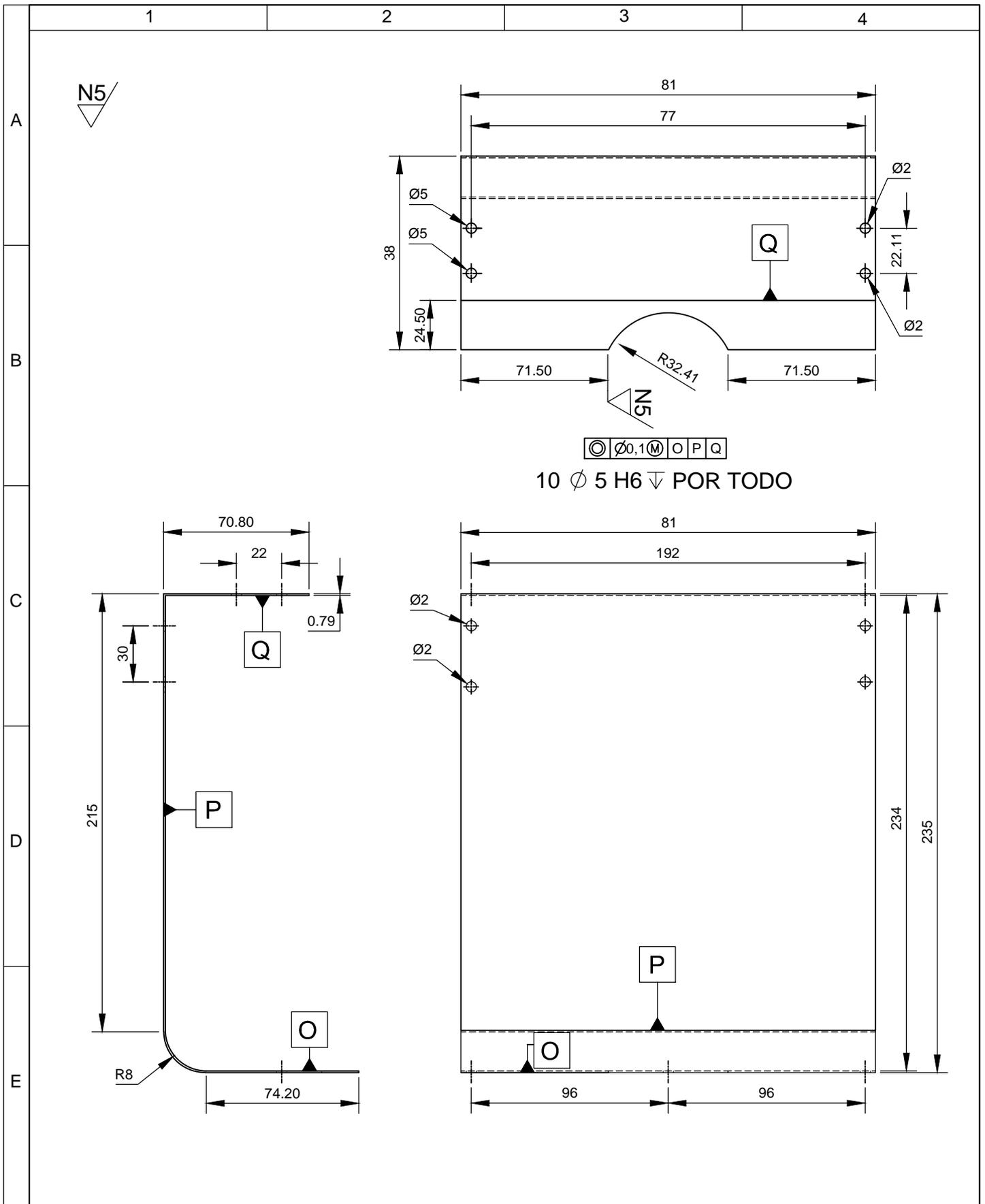
					Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1018		
					±0,1	0.22 Kg			
					Fecha	Nombre	Denominación: EJE DE ENGRANE		Escala:
				Dib.	04/07/13	Alcocer.F			2:1
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.			
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.			
					UTA		Número del dibujo: 22 de 34		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			



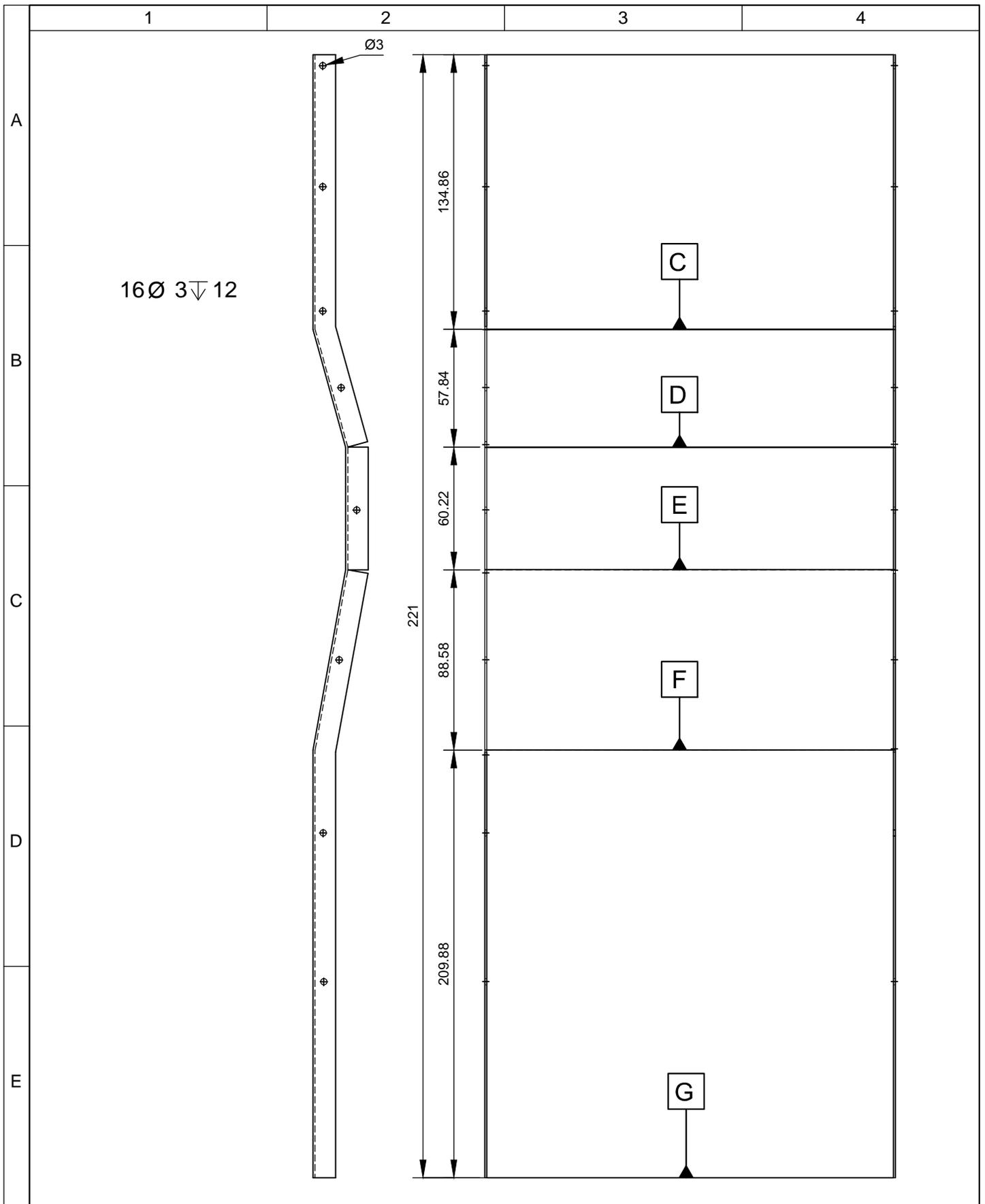
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: PLANCHA ASTM A-36	
				±0,1	0.03 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: TAPA FRONTAL INFERIOR	Escala: 1:2,5
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo: 23 de 34	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



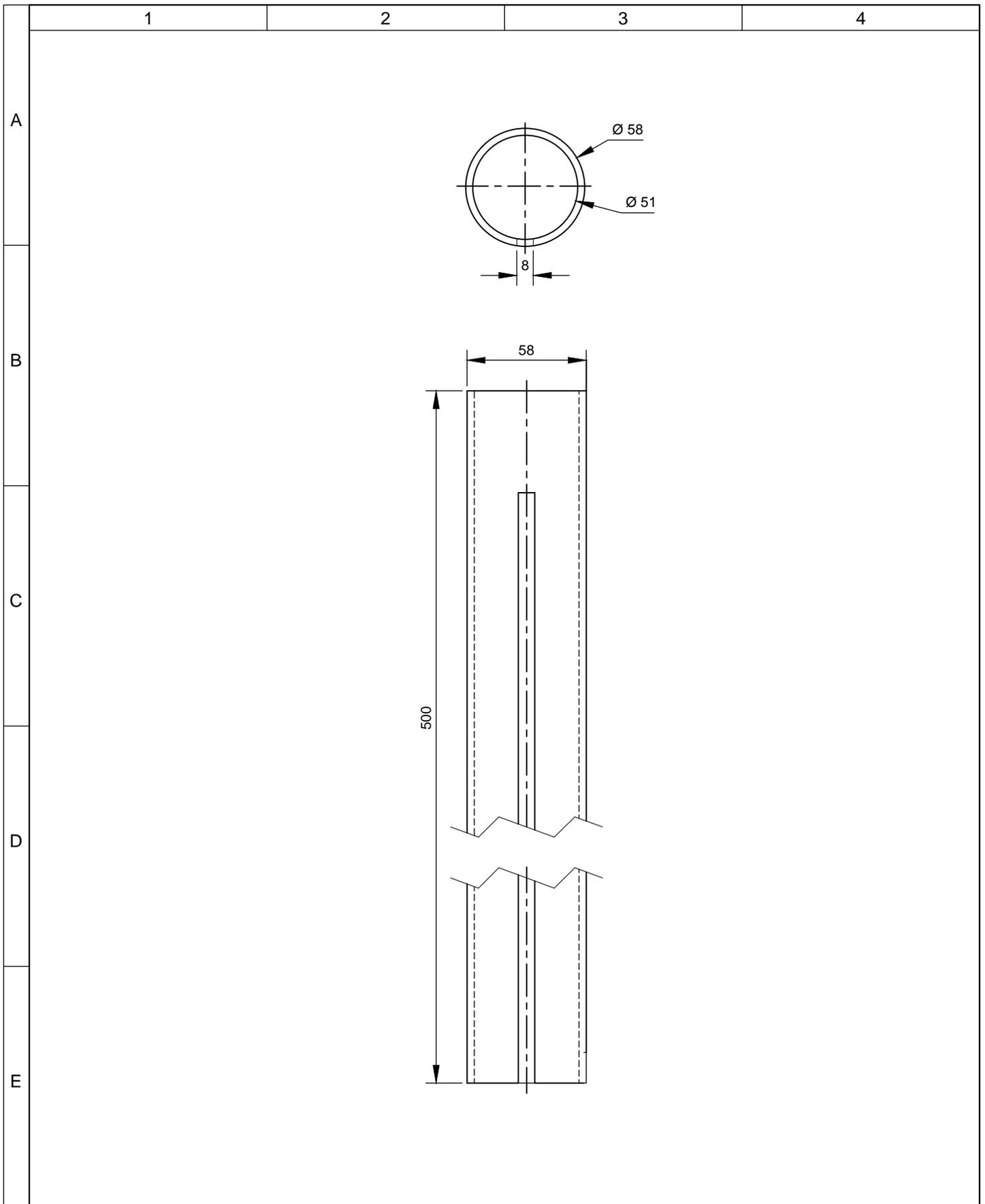
				Tolerancia ±0,1	(Peso) 0.27 Kg	Materiales: ACERO ASTM A-36	
						Denominación: TENSOR DE CADENA	Escala: 1:1
				Fecha	Nombre		
				Dib. 04/07/13	Alcocer.F		
				Rev. 04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				Apro. 04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	24 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



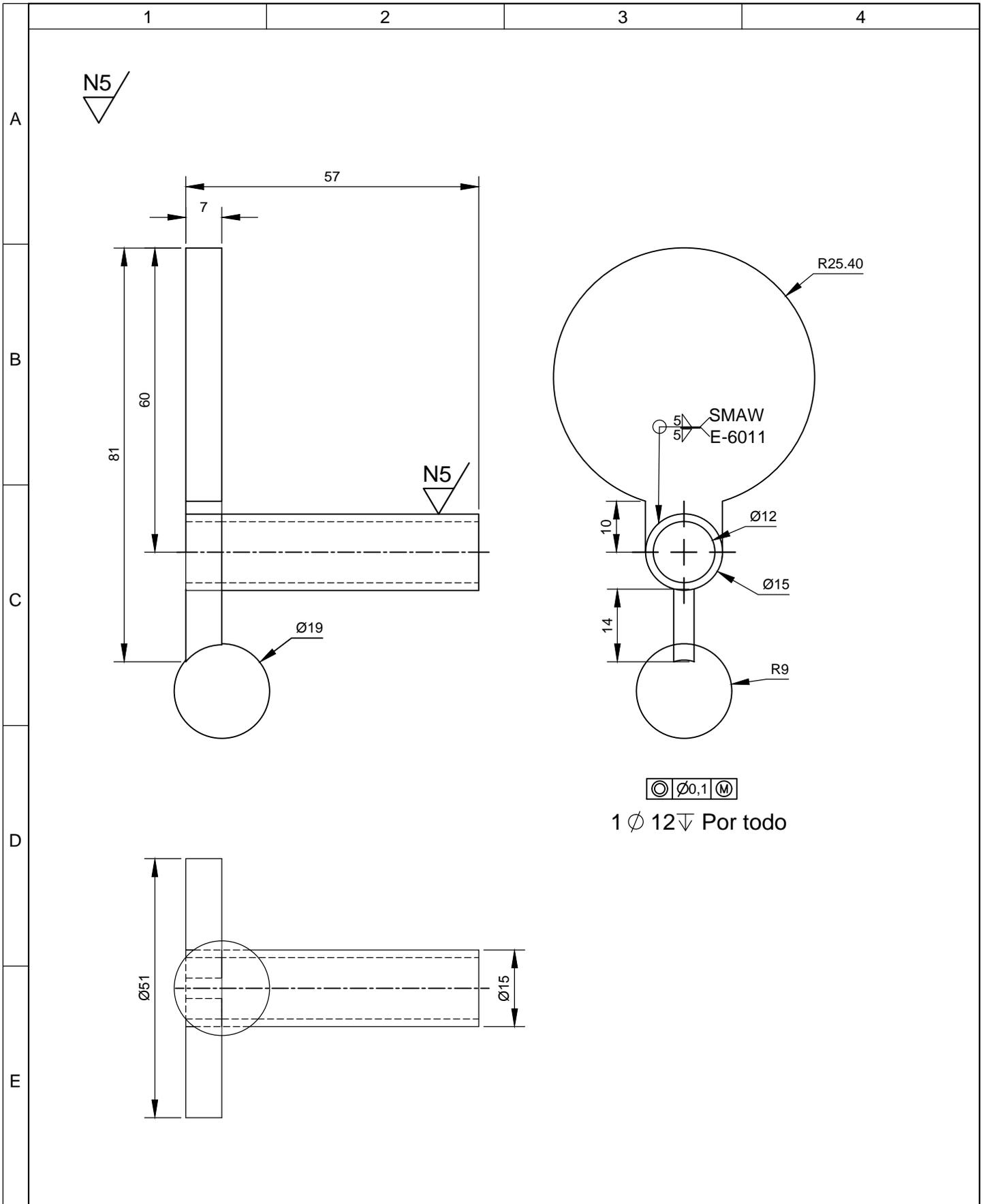
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.04 Kg	PLANCHA ASTM A-36	
				Fecha	Nombre	Denominación: TAPA FRONTAL INTERNA	Escala: 1:2,5
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo: 25 de 34	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



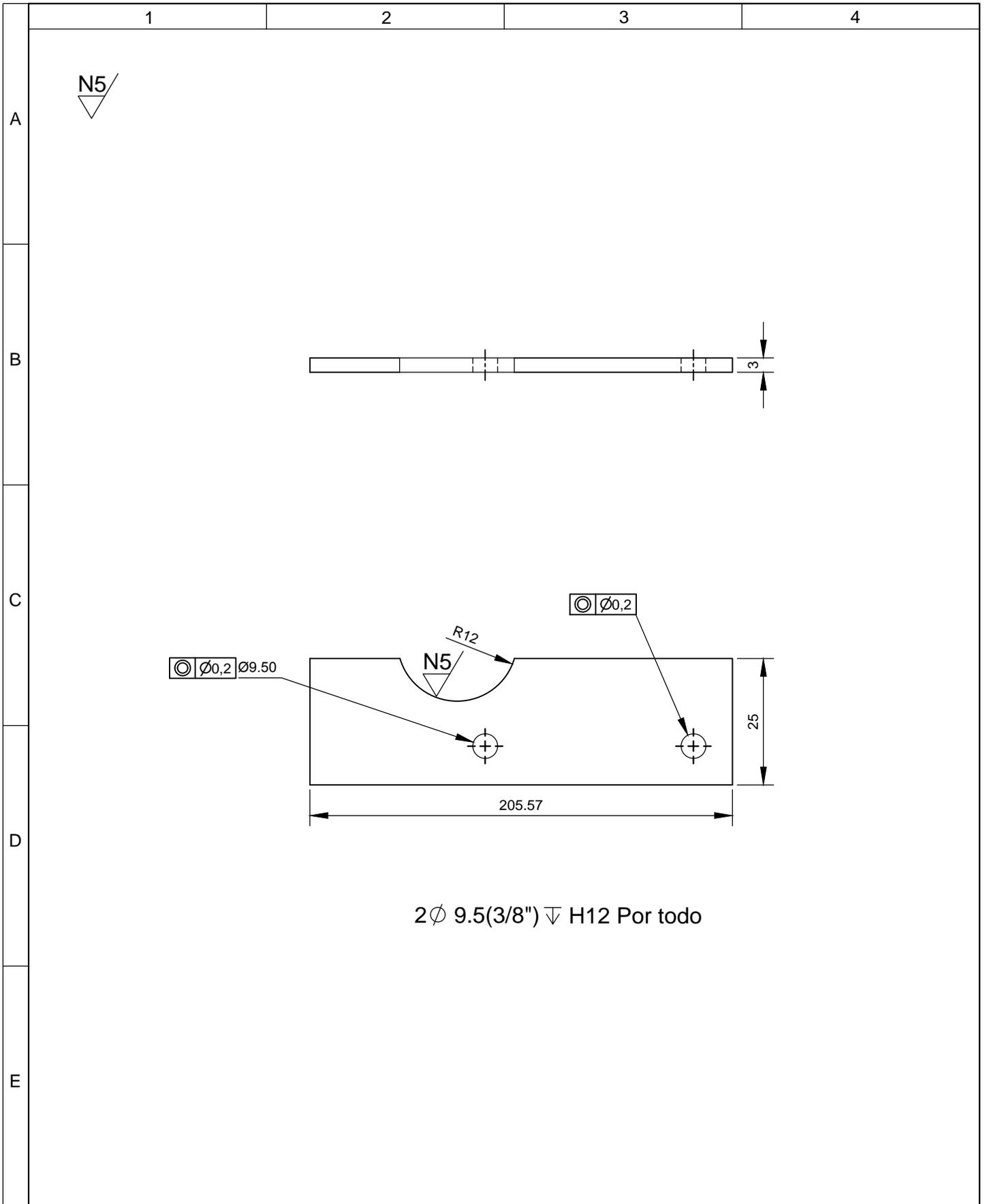
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		PLANCHA ASTM A-36
				±0,1	0.09 Kg			
					Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	26 de 34	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A-53 GLB		
				±0,1	2.25 Kg			
						Denominación: TUBO GUÍA DE PISÓN		Escala:
				Fecha	Nombre			1:2,5
				Dib.	04/07/13 Alcocer.F			
				Rev.	04/07/13 Ing.Mg. López G.			
				Apro.	04/07/13 Ing.Mg. López G.	Número del dibujo: 27 de 34		
				UTA		(Sustitución)		
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre					



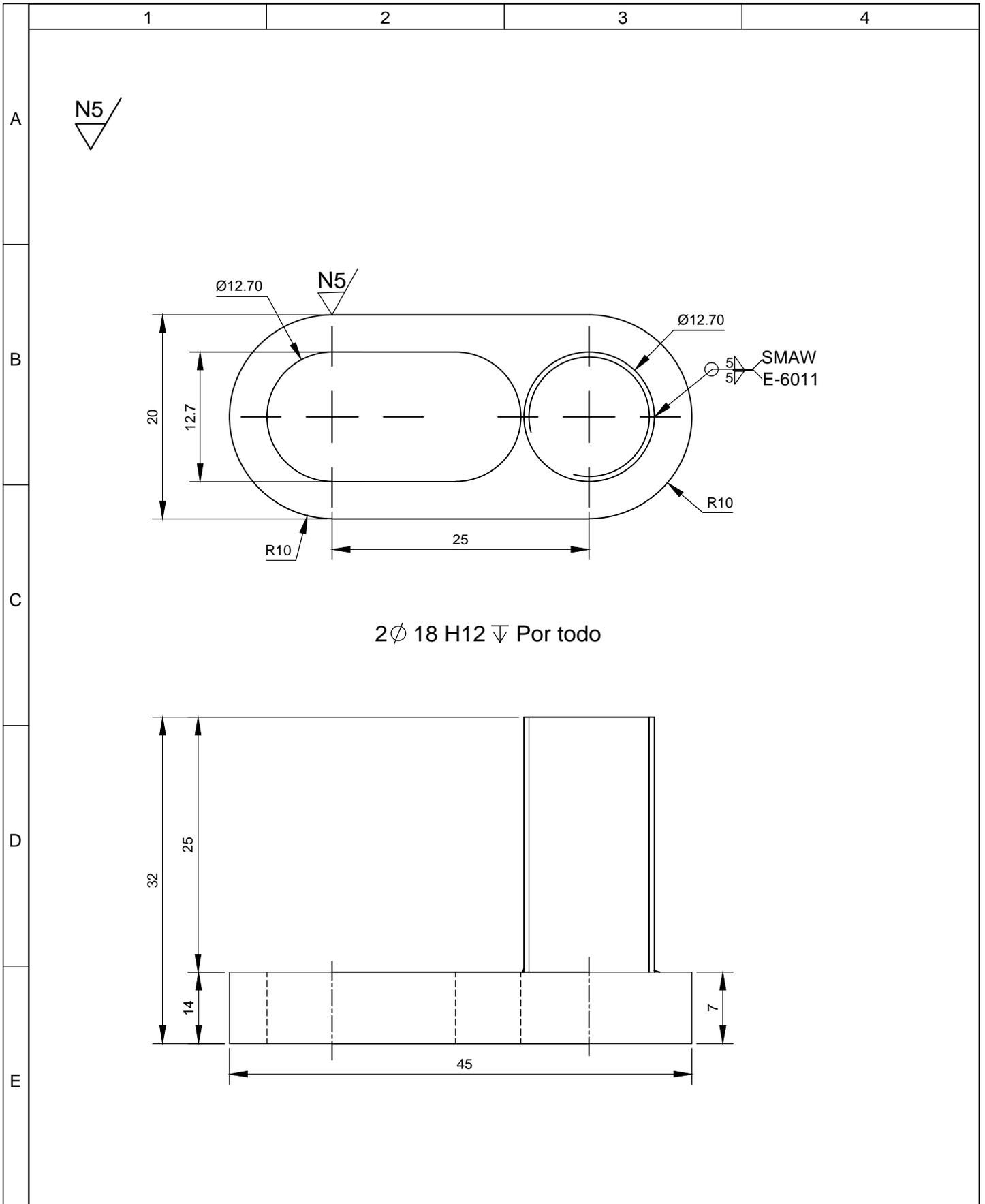
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.18 Kg	ACERO A-36	
						Denominación:	Escala:
				Dib.	Fecha	Nombre	1:1
				Rev.	04/07/13	Alcocer.F	
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.	
							Número del dibujo:
							29 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA		(Sustitución)	



2 ϕ 9.5(3/8") ∇ H12 Por todo

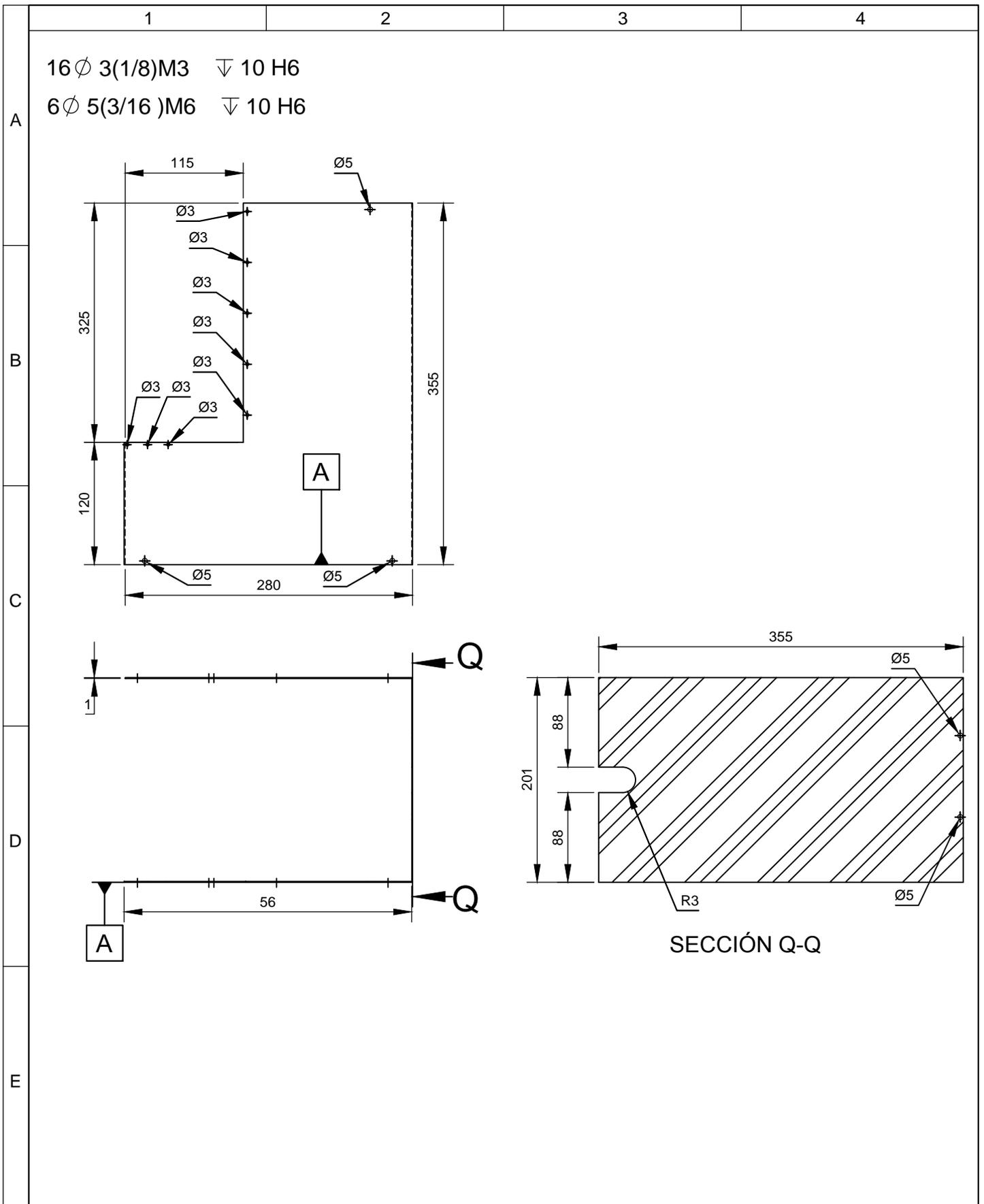
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
				$\pm 0,1$	0.09 Kg	ACERO ASTM A-36			
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F			BASE SOPORTE CHUMACERA SUPERIOR	1:2,5
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.				
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.				
				UTA		Número del dibujo:	30 de 34		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			



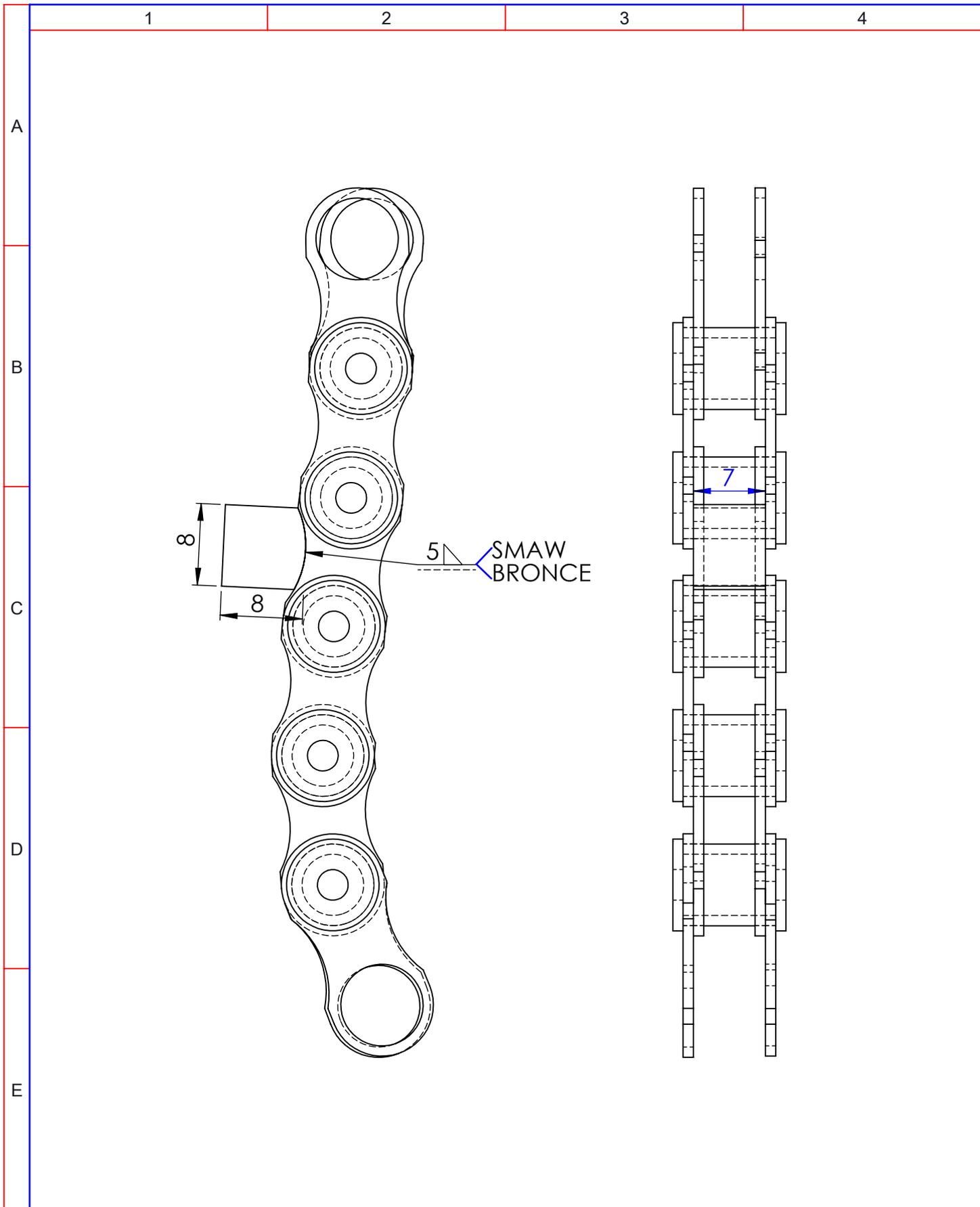


2 Ø 18 H12 ∇ Por todo

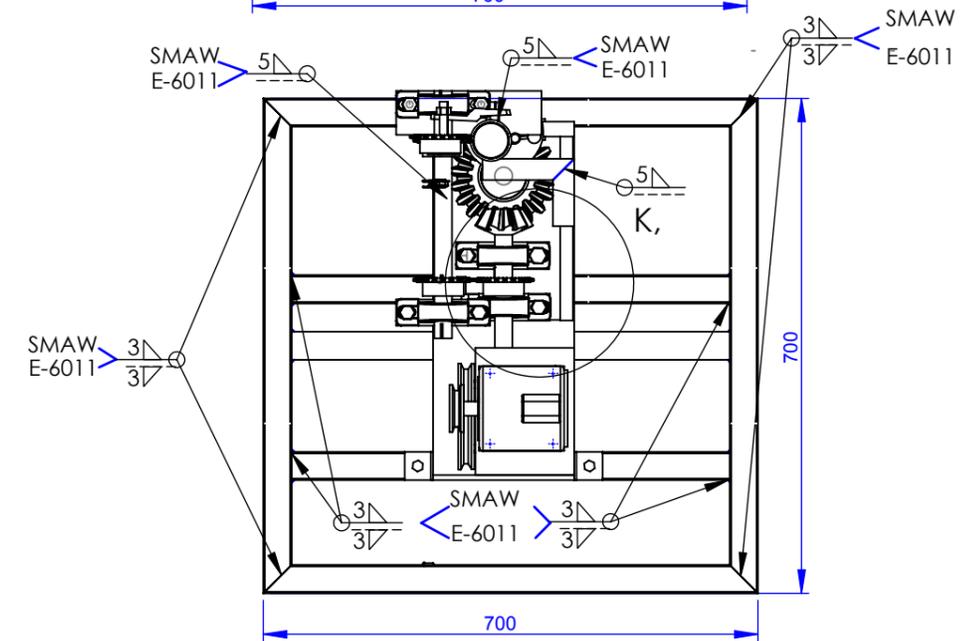
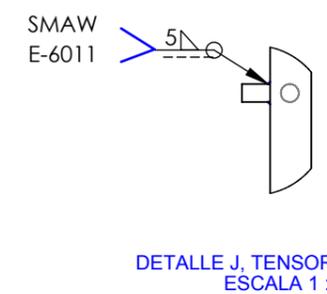
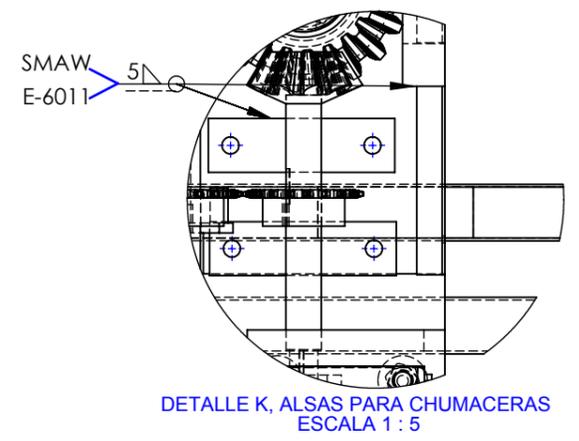
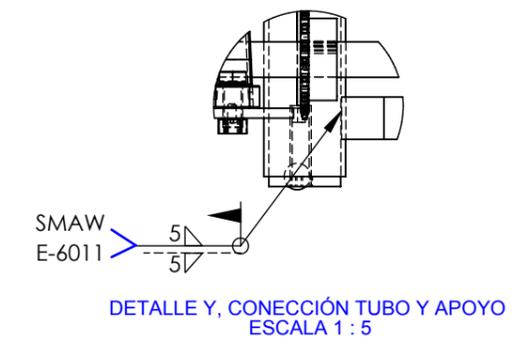
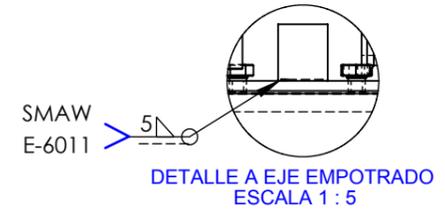
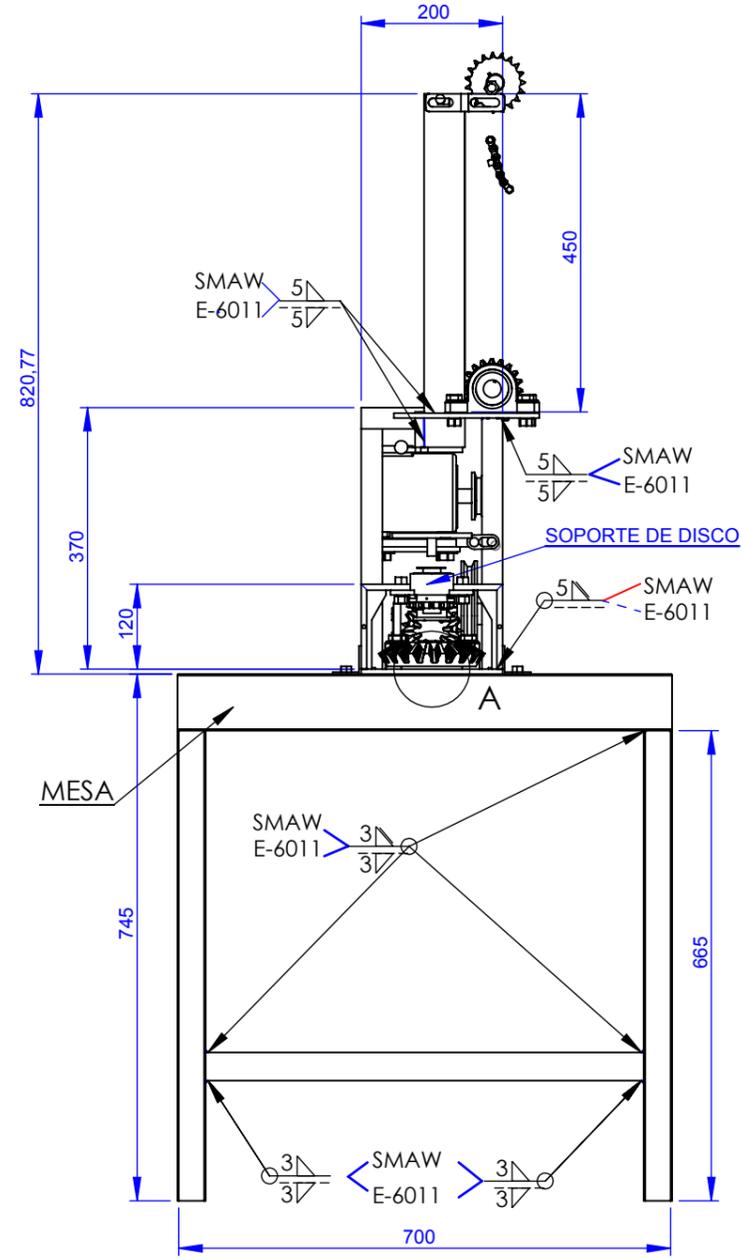
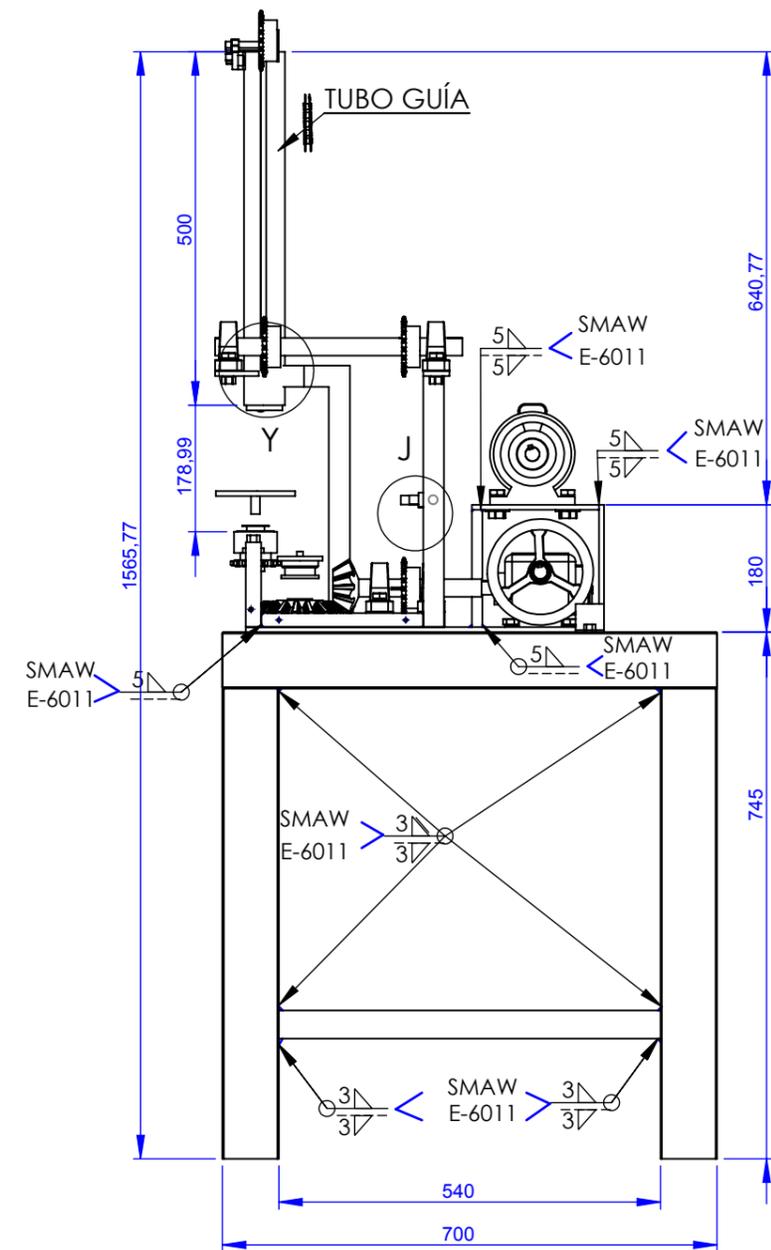
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.35 Kg	ACERO ASTM A-36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	04/07/13	Alcocer.F	
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.	
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.	
				UTA		Número del dibujo:	31 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 2:1	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: PLANCHA ASTM A 36	
				±0,1	0.11 Kg		
					Fecha	Nombre	Denominación: TAPA POSTERIOR
				Dib.	04/07/13	Alcocer.F	
				Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.	
				Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.	
				UTA		Número del dibujo:	32 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO DIN/ISO GL	
				±0,1	0,90 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: GANCHO DE CADENA	Escala: 2:1
			Dib.	04/07/13	Alcocer.F		
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G.		
				UTA		Número del dibujo:	33 de 34
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A-36			
				±0,1	16.50 Kg				
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dib.	04/07/13	Alcocer F			DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LA ESTRUCTURA	1:10
			Rev.	04/07/13	Ing.Mg.López G				
			Apro.	04/07/13	Ing.Mg.López G				
				UTA		Número del dibujo:	34 de 34		
						(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						