

Máquina de ensayos dinámicos

Emiliano Gavilán

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
2023

Máquina de ensayos dinámicos

Emiliano Gavilán

Proyecto Final de Ingeniería Mecánica presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Directores:
Ing. Pedro Sismondi – Ing. Guillermo Rodríguez – Ing. Juan Sismondi

Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Rosario, Argentina
2023

Algunas veces incluso vivir es un acto de coraje.

Lucio Anneo Séneca

Solo hay una manera de alcanzar la felicidad y es dejar de preocuparse por cosas que están más allá de nuestro poder o de nuestra voluntad.

Epícteto

Un hombre no debería tener miedo a la muerte, debería tener miedo a no empezar nunca a vivir.

Marco Aurelio

Ninguna pérdida debe sernos más sensible que la del tiempo, puesto que es irreparable.

Zenón de Citio

Yo sé, dirás: "muy duro es aguantar"
Mas, quien aguanta es el que existe

Ricardo Iorio

Para Emilia, por darme una razón para seguir adelante.

Agradecimientos

Al Ing. Rubén Edgardo López, por invitarme a participar en su trabajo de Tesis de Doctorado, lo cual resulto en el presente proyecto, y por el apoyo técnico brindado.

Resumen

El refuerzo de estructuras con materiales compuestos fibro-reforzados adheridos de forma externa está reglamentado e implementado en varios países. En investigaciones previas, se pudo comprobar que los elementos reforzados mediante una vinculación mixta adhesiva-mecánica presentan una considerable capacidad de carga residual. Dichas investigaciones, sin embargo, fueron realizadas con cargas monótonas crecientes, dejando lugar a investigación sobre su comportamiento ante cargas dinámicas y cíclicas.

En objetivo del presente proyecto es desarrollar una máquina de ensayos para realizar dicha investigación dentro del IMAE, en el marco de una tesis doctoral, con las restricciones típicas dentro del ámbito académico, esto es utilizando al máximo todo material disponible minimizando los costos de implementación.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios dado el alto grado de cumplimiento con los requisitos planteados, los cuales fueron consistentes con la investigación desarrollada.

Palabras clave: hormigón, refuerzo, PRFV, ensayos, dinámicos.

Abstract

The reinforcement and strengthening of concrete structures with externally bonded fiber-reinforced composite materials is regulated in several countries. On previous research, it was found that reinforced elements by means of a mixed mechanical-bonded linkage shows a considerably high residual load capacity. Said research, however, was conducted with quasi-static monotonic loads, leaving room for further research on its behavior under dynamic and cyclical loads

The objective of this project is to develop a testing machine to carry out this research within the IMAE, within the framework of a doctoral thesis, with the typical restrictions within the academic field, this is using all available material to the maximum, minimizing implementation costs.

The obtained results were satisfactory, given the high degree of compliance with the requirements, which were consistent with the research carried out.

Keywords: concrete, reinforcement, FGRP, testing, dynamic.

Contenido

Agradecimientos ..... **III**

Resumen ..... **V**

Abstract ..... **VII**

Contenido ..... **IX**

Introducción **1**
1.1 Motivación 1
1.2 Identificación de la necesidad 2
1.3 Objetivo general 3
1.4 Objetivos específicos 3
1.5 Organización del proyecto 3

Capítulo 2: Análisis de la necesidad **5**
2.1 Requisitos 5
2.1.1 Requisitos del ciclo mecánico 5
2.1.2 Requisitos metrológicos 8
2.1.3 Requisitos ambientales 8
2.1.4 Resumen de requisitos 8
2.2 Limitaciones 9
2.2.1 Límites de recursos humanos 9
2.2.2 Límites económicos 9
2.2.3 Límites de materiales disponibles 9

Capítulo 3: Propuestas y elección **13**
3.1 Compra de equipamiento 13
3.2 Utilización de equipamiento existente 14
3.3 Construcción de equipamiento 15
3.4 Elección de la mejor alternativa 15

Capítulo 4: Diseño y cálculo del bastidor **19**
4.1 Bastidor exterior 20
4.1.1 Elementos longitudinales 21
4.1.2 Toma del cilindro 22
4.1.3 Cierre de la estructura 23
4.1.4 Fijación de la probeta 23
4.2 Bastidor interior 24
4.2.1 Elementos longitudinales 24
4.2.2 Cierre transversal lado celda 24
4.2.3 Cierre transversal lado de pretensado 25
4.2.4 Piezas de acople Celda de carga – Bastidor interior 26
4.2.5 Mordazas 27

4.3 Soporte y deslizamiento del bastidor interior....28

Capítulo 5: Accionamiento hidráulico....31
5.1 Selección del cilindro hidráulico....31
5.2 Selección de la bomba de accionamiento....32
5.2.1 Características del ciclo de trabajo....32
5.2.2 Cálculo del desplazamiento máximo necesario....34
5.2.3 Potencia de pico teórica....34
5.2.4 Potencia de pérdidas hidráulicas....35
5.2.5 Rendimientos....37
5.2.6 Potencia total requerida....37

Capítulo 6: Sistema de medición....39
6.1 Frecuencia de muestreo....39
6.2 Elemento de medición (Celda de carga)....41
6.2.1 Celda de carga REACCIÓN....41
6.2.2 Celda de carga BLH....41
6.2.3 Selección de la celda de carga....42
6.3 Indicador digital....42
6.3.1 Indicador digital SIPEL-ATLAS....43
6.3.2 Indicador digital GSE 350....44
6.3.3 Sistema de adquisición NATIONAL INSTRUMENTS....44
6.3.4 Elección del indicador....45
6.4 Calibración del sistema....45

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones....49
7.1 Conclusiones técnicas....49
7.2 Conclusiones académicas....49
7.3 Conclusiones económicas....49
7.4 Recomendaciones....50

Bibliografía....51

Anexo A: Folletos....53
A.1 Máquina INSTRON....54
A.2 Cilindro hidráulico PALAO 5”....55
A.3 Aceite Total AZOLLA....56
A.4 Celda REACCIÓN....57
A.5 Celda de carga BLH U3G1....58
A.6 Indicador SIPEL ATLAS....59

Anexo B: Cálculos....61
B.1 Calculo del travesaño de toma de cilindro....61
B.2 Cálculo de deformación máxima....63
B.3 Calculo de pérdidas de carga....65

Anexo C: Planos....69
Plano 1 BASTIDOR EXTERIOR....70
Plano 2 BASTIDOR EXTERIOR. Toma de cilindro....71
Plano 3 BASTIDOR INTERIOR....72
Plano 4 BASTIDOR INTERIOR. Extremo lado celda y lado pretensado....73
Plano 5 MORDAZA....74
Plano 6 DISPOSITIVOS DE AMARRE DE CELDA DE CARGA....75
Plano 7 MAQUINA DE CICLADO. Vista de conjunto....76

Índice de tablas

Tabla 2.1: Requisitos de diseño....9
Tabla 5.1: Propiedades de los cilindros hidráulicos....32
Tabla 6.1: Características de la celda de carga REACCIÓN CZC 10 TN....41
Tabla 6.2: Características de la celda de carga BLH U3 20k lb....42
Tabla 6.3: Características del indicador SIPEL ATLAS....43
Tabla 6.4: Características del indicador GSE 350....44
Tabla 6.5: Tabla de clases según ISO 7500-1:2018....46
Tabla 6.6: Valores obtenidos de la calibración....47

Índice de figuras

Figura 1: Estructura reforzada con polímeros reforzados con fibras....1
Figura 2: Viga de hormigón armado con refuerzo de PRFV....2
Figura 2.1: Valores característicos del ciclo de carga dinámico....6
Figura 2.2: Dimensiones de las probetas de hormigón disponibles....10
Figura 2.3: Probetas de hormigón con caras paralelas....11
Figura 2.4: Lámina de PRFV de 6 x 75 mm....11
Figura 3.1: Esquema de ensayo de adherencia según ASTM A944....14
Figura 3.2: Uno de los prototipos de dispositivo desarrollados para adaptar la máquina universal de ensayos SHIMADZU....16
Figura 4.1: Esquema de máquina de doble pórtico....19
Figura 4.2: Diagrama cinemático lateral de la propuesta....20
Figura 4.3: Diseño propuesto del bastidor exterior....20
Figura 4.4: Caso de pandeo de elementos estructurales longitudinales....21
Figura 4.5: Diseño del extremo toma de cilindro....23
Figura 4.6: Vista del cierre transversal del bastidor interior. Lado celda....25
Figura 4.7: Vista del cierre transversal del bastidor interior. Lado pretensado....26
Figura 4.8: Vista de las mordazas tipo cuña de ~ 270 kN....28
Figura 4.9: Diseño de las mordazas de la lámina de PRFV....28
Figura 4.10: Patines de rodillo sobre raíl....29
Figura 4.11: Guías de bastidores utilizando tornillos y rodamientos rígidos de bolas....30
Figura 5.1: Fase entre fuerza y velocidad durante un ciclo de carga....34
Figura 5.2: Potencia requerida durante medio ciclo de trabajo desde $+X_{max}$ a $-X_{max}$....36
Figura 5.3: Fase entre fuerza, velocidad y potencias teórica y real....37
Figura 6.1: Esquema del sistema de medición y adquisición de datos....39
Figura 6.2: Error máximo y frecuencia mínima de muestreo....40

Introducción

1.1 Motivación

El diseño de elementos de hormigón armado y/o pretensado reforzado externamente con materiales compuestos fibro-reforzados está reglamentado en EEUU y en muchos países por la norma ACI 440 [1] y documentos derivados como por ejemplo la CNR DT 200 italiana y su traducción al español. Dichos refuerzos de polímeros proveen una solución eficiente para el refuerzo de estructuras existentes de hormigón o mampostería que necesitan reparación o por el cambio de las condiciones de servicio de las mismas. Una muestra de dichos refuerzos puede observarse en la Figura 1.



Figura 1: Estructura reforzada con polímeros reforzados con fibras.

El presente proyecto surge como una necesidad dentro de la tesis doctoral titulada "*Comportamiento de refuerzos en hormigón armado con láminas de PRFV frente a efectos dinámicos*" del Ing. Rubén Edgardo López [2], en la cual se explora el comportamiento de láminas de PRFV de refuerzo en modos de trabajo no contemplados

en las normativas mencionadas.

La misma, realizada dentro del IMAE, FCEIA, UNR, surge como una continuación de la tesis realizada en dicha institución por el Dr. Alberto Pedro Busnelli [3], cuyos resultados obtenidos mostraron que uno de los campos de aplicación de mayor utilidad para los refuerzos con láminas de PRFV pultruídas adheridas y abulonadas podrían ser las estructuras sometidas a cargas sísmicas, ya que los elementos reforzados presentaron una considerable capacidad de carga residual que otorgaría a las estructuras la posibilidad de desviar resistencias hacia otros elementos sin producir el colapso global.

En la Figura 2 puede observarse una de dichas láminas adherida mediante resina epoxi y bulones a una viga de hormigón, de una muestra ensayada durante el desarrollo de la tesis del Dr. Busnelli.



Figura 2: Viga de hormigón armado con refuerzo de PRFV.

En dicho trabajo se realizaron solamente ensayos con cargas monótonas crecientes, por lo tanto, para comprobar su efectividad para soportar cargas dinámicas como las introducidas por equipos vibrantes, circulación de vehículos o cargas de origen sísmico, se presentaba como una investigación necesaria el estudio del comportamiento de estos refuerzos bajo cargas variables, con y sin inversión de signo.

Cabe destacar que, en vigas a la flexión, el efecto del refuerzo de la lámina se transmite al hormigón por el esfuerzo de corte entre ambos elementos.

1.2 Identificación de la necesidad

Determinación experimental de la resistencia dinámica al corte de diversos métodos de

unión (adherencia mediante resinas epoxi, abulonado o combinación de los anteriores) entre láminas de PRFV y sustrato de Hormigón.

1.3 Objetivo general

Diseño de una máquina de ensayos de carga cíclica para la determinación del comportamiento dinámico al corte de la unión Lámina de PRFV-Hormigón.

1.4 Objetivos específicos

- Estudiar y aplicar la metodología para el desarrollo de un proyecto de diseño mecánico;
- Establecer las especificaciones técnicas que debe cumplir el producto;
- Diseñar conceptualmente la propuesta;
- Realizar análisis estático;
- Realizar análisis de resistencia de materiales;
- Realizar diseño, cálculo y selección de accionamiento hidráulico;
- Realizar análisis, selección e implementación de sistema de medición de cargas;
- Diseñar los planos de fabricación de la propuesta de solución adoptada.

1.5 Organización del proyecto

El proyecto está organizado de la siguiente manera:

- Introducción. Sitúa el marco teórico-conceptual del problema para ilustrar correctamente la realidad estudiada. En el mismo se describe de manera clara tanto el diagnóstico del problema como la justificación del estudio, haciendo hincapié en el por qué y para qué realizar el trabajo. Además se desarrollan los antecedentes y se describen conceptos claves que se utilizarán durante el desarrollo del proyecto. Por último, se investiga qué alternativas existen en el mercado actual para satisfacer la necesidad en estudio, y cuáles son sus características.
- Capítulo 2: Se realiza el análisis de la necesidad, y se establecen los requisitos y las limitaciones.

- Capítulo 3: Se analizan diferentes propuestas y se selecciona la más conveniente.
- Capítulo 4: Se desarrolla y se dimensiona el bastidor de la máquina.
- Capítulo 5: Se diseña y desarrolla el sistema de accionamiento hidráulico.
- Capítulo 6: Se diseña el sistema de medición, y se seleccionan los componentes.
- Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones.

Capítulo 2: Análisis de la necesidad

Para analizar las condiciones límites del proyecto, las mismas se dividen en requisitos (lo intrínsecamente necesario para obtener resultados satisfactorios) y las limitaciones inherentes a toda actividad humana.

2.1 Requisitos

Comenzamos considerando las condiciones que imponen las determinaciones que se intentan realizar. Como la necesidad primaria es determinar resistencia a los esfuerzos y esto lo lograremos mediante la utilización de una máquina de ensayos que pueda realizar ciclos de esfuerzo sobre una muestra, comenzaremos enumerando los requisitos del ciclo mecánico y luego los requisitos metrológicos.

2.1.1 Requisitos del ciclo mecánico

Dentro de los requisitos de origen mecánico, están fundamentalmente los modos de aplicación de la carga que se desean explorar y los valores máximos y mínimos de carga. Estos definirán valores o un rango de ellos para los parámetros característicos de los ensayos dinámicos.

A continuación haremos una descripción de dicho ciclo de y luego se determinarán los valores de los mismos.

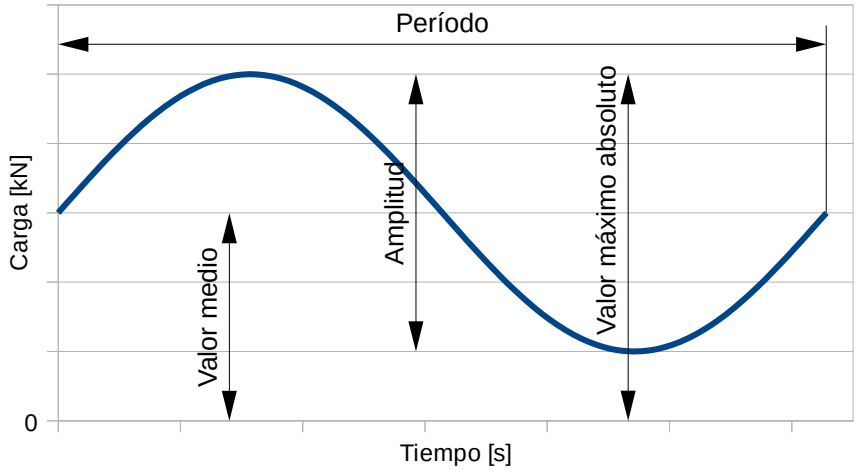


Figura 2.1: Valores característicos del ciclo de carga dinámico.

En un ensayo dinámico se aplican cargas a una muestra dada entre dos valores máximo (F_{max}) y mínimo (F_{min}); a partir de esto se pueden definir los siguientes parámetros, los que se indican en la Figura 2.1:

- Período. Se define como el tiempo de duración de una onda completa del ciclo de aplicación de carga. Su valor está expresado en segundos [s].

  Si bien este es el valor característico fundamental, en la práctica es más común utilizar su recíproco llamado frecuencia (*frec*), expresado en Hertz [Hz].

$$T = \frac{1}{frec}$$

- Amplitud. Se define como la medida de pico a valle del ciclo de carga.

$$A = F_{max} - F_{min}$$

- Valor medio. Es el valor de la media entre el pico y el valle.

$$M = \frac{F_{max} + F_{min}}{2}$$

- Valor máximo absoluto. Definido como el valor máximo (en valor absoluto) que puede tomar la fuerza durante el ciclo de carga. Si bien este valor no es fundamental para definir el ciclo, si lo es para el diseño de los componentes de la máquina de ensayos.

Cabe destacar que aunque el ciclo de carga se ha representado como sinusoidal en la figura, los ciclos de carga reales pueden llegar a diferir bastante en forma de este. En

particular y para este proyecto, se admiten otras formas de onda además de la sinusoidal.

Frecuencia

Para la determinación de la frecuencia de ensayo se utilizaron datos provenientes de la literatura académica respecto a los valores de frecuencias más comunes tanto en sismos como así también las debidas a las frecuencias naturales de oscilación de las estructuras de hormigón armado. Este valor oscila usualmente entre 0,5 y 5 Hz. Se considera entonces una frecuencia base de 1 Hz.

Amplitud

De ensayos estáticos anteriores en muestras similares [3] se identifica un valor máximo del orden de 80 kN. Dicho valor se considera válido solamente para las dimensiones de la probeta a utilizar y en un sólo tipo de lámina de PRFV a estudiar.

Dado que se espera una falla por ciclos repetidos, los cuales se dan a cargas menores a las fallas por cargas estáticas, se considera dicho valor como una cota máxima. Para ajustar dicho valor a las cargas nominales de los instrumentos disponibles comercialmente se fija una carga de diseño de ± 100 kN.

La amplitud del desplazamiento necesario, debido a las características de rigidez tanto del hormigón, del refuerzo de PRFV y de la resina epoxi utilizada, es pequeña. En ensayos previos carreras de 20 mm resultaron más que suficientes para lograr el total despegue de la unión hormigón-PRFV. Sin embargo, es deseable una carrera mayor por cuestiones de ajuste de las muestras a la máquina. Hay que recordar que las mismas están confeccionadas a partir de los restos de probetas de hormigón para ensayo de flexión, por lo que tienen dimensiones variables. Se considera que una carrera de 200 mm proveerá una adecuada a los efectos de acomodar las diferencias de medida que inevitablemente surjan en la confección de las probetas, aunque la carrera de trabajo durante el ensayo no sea mayor a 20 mm.

Durante el desarrollo del proyecto se prevé calcular un valor ajustado, dado que este parámetro afecta la potencia requerida para el accionamiento.

Valor medio

Si bien los refuerzos de PRFV se diseñan para aportar resistencia al hormigón en el sentido de la tracción, durante un sismo o movimiento por oscilación natural los cuerpos estructurales oscilan en torno a su posición de reposo simétricamente, por lo que los esfuerzos al corte de la unión hormigón-PRFV varían en ambos sentidos. Se establece que el valor medio del ciclo de carga es cero (ciclo simétrico).

Número de ciclos

Al establecer el número de ciclos al que se debían someter las probetas se pensó en los ciclos de carga que se presentan en los sismos más frecuentes. En tal sentido se supuso razonable una resistencia de la probeta a la aplicación de 45 ciclos de carga divididos en tres escalones crecientes. Se propusieron cinco ciclos para cada uno de los dos primeros escalones, mientras que el último valor de carga cíclica se mantendría hasta la rotura de la probeta siempre y cuando se produjera antes de cien ciclos, considerando que este era un valor límite para el ensayo. Para esto se observa las normativas de ensayos para otros dispositivos utilizados en la industria.

2.1.2 Requisitos metrológicos

Las cargas aplicadas deben poder medirse y registrarse de forma continua.

La incertidumbre de medición, idealmente, debe estar dentro del 1 % del valor leído. Dicho valor es un estándar de las mediciones de fuerza en ensayos estáticos de tracción y compresión en la industria, contemplados en las normas relativas a los ensayos estáticos de tracción y compresión de materiales de construcción como acero y hormigón. Dentro de estas normas se encuentran las normas ISO 6892-1:2016 [4], la norma IRAM/IAS U500-102:2016 [5]. la cual es esencialmente una traducción de la norma ISO y la Norma IRAM 1546 [6], en las cuales se especifica como requisito que las máquinas de ensayo sean de Clase 1 cuando son calibradas según la Norma ISO 7500-1:2018 [7].

2.1.3 Requisitos ambientales

Los ensayos sobre materiales sintéticos son fuertemente influidos por las condiciones ambientales, principalmente temperatura y humedad relativa.

Debido a las condiciones en las que pueden encontrarse los refuerzos a ensayar en su uso habitual (temperaturas “ambiente”), se define una temperatura de ensayo de 23 ± 5 °C y una humedad relativa (HR) de 50 ± 20 %.

2.1.4 Resumen de requisitos

En la Tabla 2.1 se sintetizan los requisitos de diseño del proyecto.

Tabla 2.1: Requisitos de diseño

Tipo de requisito	Propiedad	Valor
Ciclo mecánico	Amplitud (fuerza)	± 100 kN
	Amplitud (desplazamiento)	± 10 mm
	Carrera	200 mm
	Frecuencia	1 Hz
	Cantidad de ciclos máx	100
Metrológico	Incertidumbre	1 % (Clase 1)
Ambiental	Temperatura	23 ± 5 °C
	Humedad relativa	50 ± 20 %

2.2 Limitaciones

Dentro de las limitaciones pueden enumerarse diferentes categorías.

2.2.1 Límites de recursos humanos

Los recursos humanos con que se dispone son en su mayoría alumnos avanzados de las carreras de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Civil de la FCEIA. Ellos son los que, en el ámbito de sus proyectos de ingeniería respectivos, realizarán la mayoría de ensayos y operarán las máquinas o equipos resultantes del presente proyecto. Es por lo tanto necesario que tanto la operación como las mediciones se realicen de la forma más simple, rápida y segura posible.

2.2.2 Límites económicos

Dado que se trata de un proyecto enmarcado en una tesis de doctorado, el costo del mismo debe ser afrontado en su totalidad por el doctorando. Es de particular importancia aprovechar al máximo todos los materiales y equipos que haya disponibles.

Dentro del IMAE se dispone de una variada gama de equipamiento como así también de componentes y materiales que pueden ser adaptados para el proyecto. Los componentes adicionales necesarios deberán ser lo más económicos posible.

2.2.3 Límites de materiales disponibles

Dado los materiales disponibles, es importante destacar que esta limitación impondrá algunas condiciones respecto a los ensayos, tanto respecto a los bloques de hormigón como de las láminas de PRFV.

Los bloques de hormigón utilizados como base para adherir las láminas de PRFV tanto por adhesión mediante resina epoxi como por unión mixta resina-bulones son los restos de ensayos de probetas de flexión de hormigón. Dichos bloques pueden presentar variación de su dimensión mayor dado que se obtienen partiendo de la rotura por flexión, cortando con una sierra diamantada la parte irregular de la fractura. Estas condiciones se indican en las Figuras 2.2 y 2.3.

Las láminas de PRFV fueron donadas por una empresa comercial, lo cual fija el tamaño de las mismas, que en este caso fue de 75 mm de ancho por 6 mm de espesor, tal como se aprecia en la Figura 2.4.

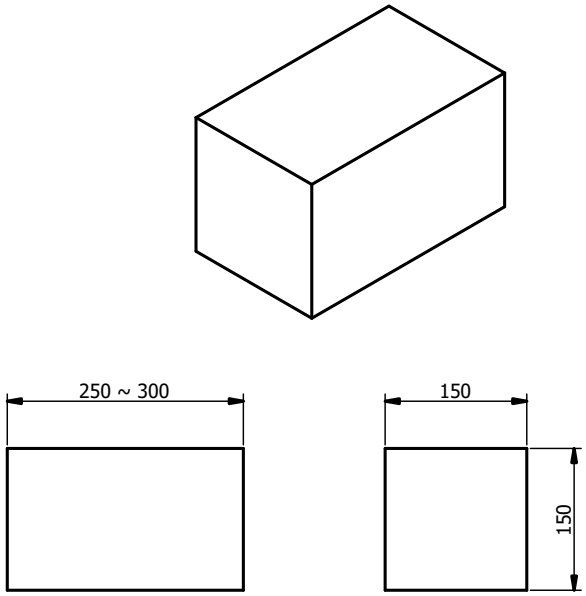


Figura 2.2: Dimensiones de las probetas de hormigón disponibles.



Figura 2.3: Probetas de hormigón con caras paralelas.

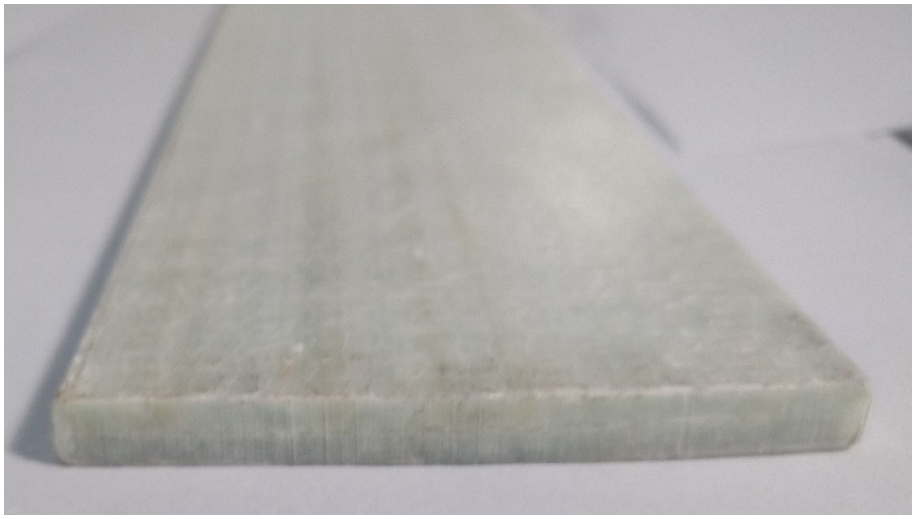


Figura 2.4: Lámina de PRFV de 6 x 75 mm.

Capítulo 3: Propuestas y elección

Se propone explorar tres alternativas básicas

1. Compra de algún equipamiento comercial que realice dichos ensayos.
2. Utilización de algún equipamiento existente adaptándolo para lograr el objetivo.
3. Construcción de un equipamiento utilizando materiales y componentes existentes.

3.1 Compra de equipamiento

Una opción es la compra de un equipamiento existente que pueda realizar las mediciones requeridas. Si bien no se tiene conocimiento de máquinas en el mercado que realicen específicamente este tipo de ensayos, se buscan alternativas de ensayos similares y/o máquinas que puedan trabajar a ciclo adecuadas.

Uno de los ensayos considerados similares es el descripto en la Norma ASTM A-944 [8], en la que se propone un método de ensayo para determinar y comparar los esfuerzos de adhesión de barras de armadura al hormigón. Sin embargo una búsqueda de información revela que no existen máquinas de ensayo comerciales disponibles en el mercado. En la Figura 3.1 se puede observar un esquema de dicho ensayo tal cual se describe en la Norma mencionada.

Respecto a máquinas de ensayo dinámicas, las posibilidades son varias. Desde las principales firmas establecidas (Instron, Tinius Olsen, Shimadzu, ZwickRoell, etc.) hasta fabricantes de origen asiático sin renombre ni representantes en el país, las opciones son variadas. Como ejemplo se toma la máquina Instron® 8801, cuya descripción se adjunta en el punto A.1.

Cabe destacar que en todas estas máquinas, que de tipo universal, es necesario la fabricación de útiles de ensayo ya que no vienen preparadas para adaptar las muestras a ensayar.

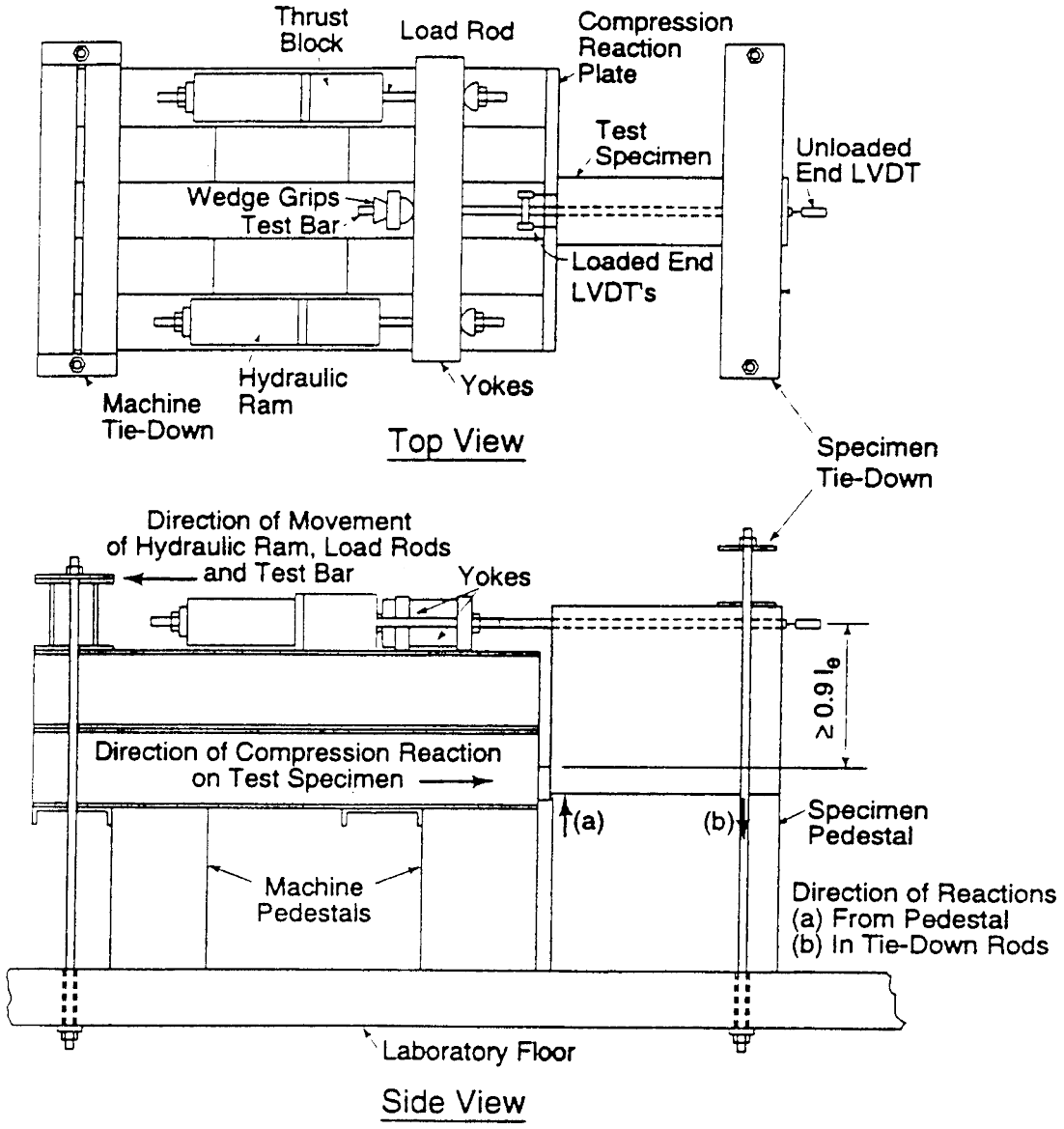


Figura 3.1: Esquema de ensayo de adherencia según ASTM A944

3.2 Utilización de equipamiento existente

Dentro de las alternativas posibles se analizó utilizar una máquina de ensayos Shimadzu AG 100kNG, la cual, si bien no es una máquina de ensayos dinámica, puede trabajar a ciclos.

El ciclo puede programarse entre una carga máxima y una mínima, durante un número determinado de ciclos. Dicho ciclo tendría una forma de onda trapecial ya que durante las fases del ciclo de carga y descarga la velocidad permanece constante, y el máximo número de ciclos que soporta la máquina es de 9 999.

El sistema de indicación de la carga se encuentra calibrado de acuerdo a la norma ISO 7500-1, por lo que dicha máquina cumple los requisitos metrológicos.

Dadas estas características, se analiza construir un dispositivo para adaptar las muestras a la misma.

3.3 Construcción de equipamiento

Existe la opción de fabricar el equipamiento requerido a partir de materiales y subsistemas en existencia tales como perfiles para los bastidores, bombas y cilindros hidráulicos para la aplicación de cargas y celdas de carga e indicadores digitales para la medición de cargas.

Dadas las características de uno de los sistemas hidráulicos existentes pueden lograrse los requisitos del ciclo mecánico (forma de onda senoidal).

También se estima que la performance de un sistema de medición compuesto por una celda de carga e indicador digital comerciales es suficiente para alcanzar los requisitos metrológicos, previa calibración del mismo.

3.4 Elección de la mejor alternativa

La primera alternativa, compra de una máquina nueva, es rápidamente descartada debido a las siguientes limitaciones:

- Tiempo. En el mercado de máquinas de ensayo los *lead time* de compras suelen ser de varios meses. En general las máquinas son prototipos de fabricación en pequeñas series y muy a menudo se construyen bajo demanda.
- Económicas. Las máquinas de ensayo son, además, máquinas costosas debido a que la mayoría son importadas (valor del cambio) y debido a lo expresado sobre su método de fabricación. Por poner un ejemplo, la máquina de ensayos universales Shimadzu AG 100kNG de 100 kN de capacidad tuvo un costo total de adquisición que superó los u$s 100 000.

La segunda opción, que es la fabricación de un dispositivo para adaptar a la máquina de ensayos existente. Esta posibilidad se exploró inicialmente, y se diseñaron una serie de dispositivos, uno de los cuales se muestra en la Figura 3.2.

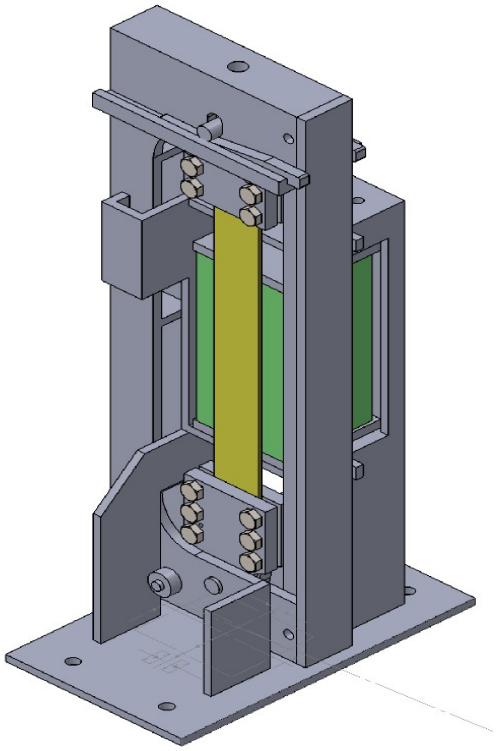


Figura 3.2: Uno de los prototipos de dispositivo desarrollados para adaptar la máquina universal de ensayos SHIMADZU.

A pesar de haber desarrollado algunas variantes de estos dispositivos, el uso de los mismos presenta los siguientes inconvenientes:

- En la programación del ciclo, al llegar a un extremo del mismo, hay que tener un período de detención, el cual tiene una resolución de 1 s, antes de comenzar el movimiento en sentido opuesto. Esto provoca que por cada ciclo haya al menos dos segundos de detención, resultando en una frecuencia menor a 0,5 Hz.
- La forma de onda aplicada es, como ya se ha explicado, de forma trapecial. Esto es considerado subóptimo por el doctorando.
- La necesidad de realizar gran cantidad de ensayos puede resultar en una sobrecarga del tiempo de uso de la máquina, la cual es necesaria para satisfacer otras necesidades periódicas debido a los servicios que presta el IMAE.
- La disposición vertical de la máquina resulta en una posición poco ergonómica para las tareas de montaje y desmontaje de las muestras a ensayar. Cabe destacar que los bloques de hormigón utilizados para este fin tienen un masa que puede variar entre 10 y 15 kg, resultando dificultoso de manipular en dicha posición.

Exploradas las alternativas expuestas anteriormente, se concluye que la mejor opción es la de construir el equipamiento a partir de los materiales y partes existentes en el IMAE.

Si bien se utiliza como base de diseño el esquema propuesto por ASTM A-944 para el ensayo de adherencia de barras de armadura al hormigón indicado en la Figura 3.1, se señalan las principales diferencias respecto al mismo:

1. El sentido de ensayo es bidireccional.
2. No se pretende en este diseño incluir la medición de desplazamientos de la lámina de PRFV al hormigón.

Capítulo 4: Diseño y cálculo del bastidor

Basándose en el esquema de la Figura 3.1 de la Norma ASTM A-944 se propone un diseño de doble pórtico como se indica en la Figura 4.1. El mismo consta de un bastidor exterior que cumple la función de soporte estructural de todos los elementos de la máquina. Por dentro del éste se desplaza un bastidor interior accionado mediante el cilindro hidráulico y cuya fuerza de actuación se mide mediante la celda de carga interpuesta entre estos dos últimos elementos.

Las probetas se fijarán al bastidor exterior en su componente de hormigón y al bastidor interior móvil en la parte de la lámina de PRFV.

La máquina tendrá disposición horizontal para facilitar el montaje de las probetas a medir, como se indica en el esquema lateral de la Figura 4.2.

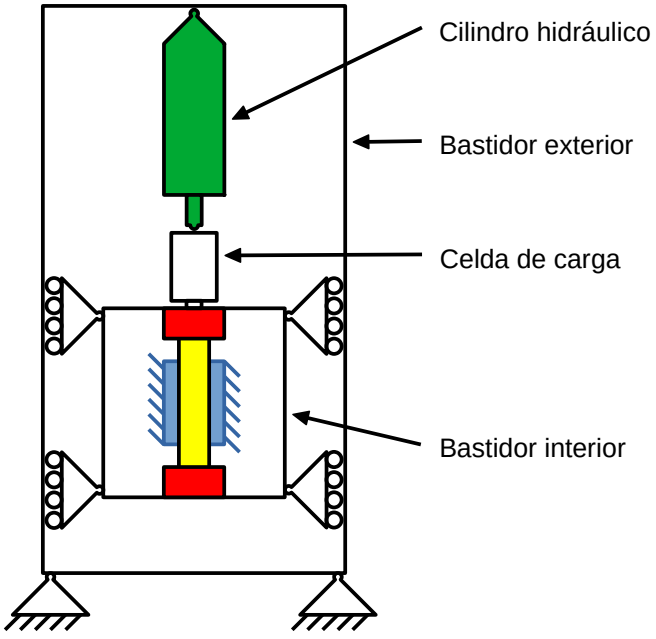


Figura 4.1: Esquema de máquina de doble pórtico

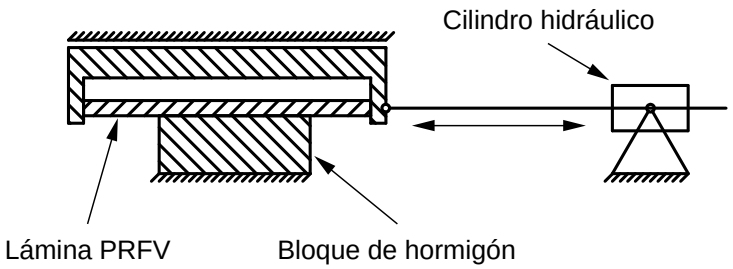


Figura 4.2: Diagrama cinemático lateral de la propuesta.

Durante el desarrollo del diseño, los elementos mas importantes desde el punto de vista estructural se dimensionarán o verificarán para evitar rediseños mayores, mientras que algunos elementos menos importantes se verificarán al final en una simulación computacional.

Los planos de fabricación se adjuntan al final del presente documento. El conjunto armado se detalla en el Plano 7.

4.1 Bastidor exterior

Previo al cálculo y la verificación de la estructura del mismo, y a partir de materiales existentes, se propone el diseño de la Figura 4.3, utilizando perfiles UPN.

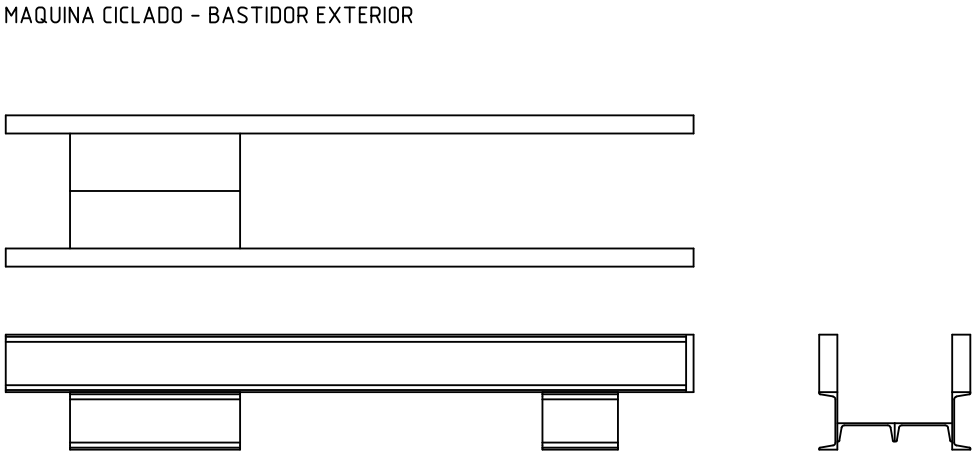


Figura 4.3: Diseño propuesto del bastidor exterior

El bastidor exterior estará compuesto en sus elementos longitudinales por perfiles U de acero (UPN) de acuerdo a IRAM-IAS U 500-509-2 o perfiles C o MC de acuerdo a IRAM-IAS U 500-509-4. Las tablas de perfiles normalizados utilizadas fueron descargadas de https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/215.

Este bastidor se detalla en el Plano 1.

4.1.1 Elementos longitudinales

Para la selección de los elementos estructurales longitudinales se selecciona un perfil disponible y se verifica que resista los esfuerzos a los que se encontrará sometido.

Se selecciona un perfil C6x8,2 según IRAM-IAS U 500-509-4.

Dichos elementos están sometidos a esfuerzos de tracción y compresión, por lo que los mismos deberán verificar los esfuerzos de compresión y pandeo.

Para la verificación al pandeo, se propone que las condiciones de los extremos son las indicadas en la Figura 4.4, lo cual, si bien no está completamente de acuerdo con la realidad, proveerá un valor mayor que nos hará estar del lado de la seguridad.

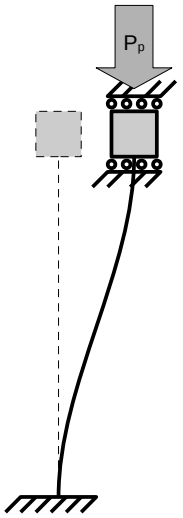


Figura 4.4: Caso de pandeo de elementos estructurales longitudinales

Según la teoría de Euler para pandeo elástico tenemos que la carga límite de pandeo cumple con la siguiente ecuación de la cual se desprende la carga límite de pandeo

$$\frac{P_p L^2}{E I} = \pi^2 \Rightarrow P_p = \frac{\pi^2 E I}{L^2}$$

Podemos verificar que el perfil seleccionado cumple con los criterios de resistencias establecidos.

Dato de carga

P [N]	50000

Datos del perfil

Perfil	C6x8,2 según IRAM-IAS U 500-509-4
L [mm]	1820
E [N/mm²]	200000
I [mm⁴]	290000
Ag [mm²]	1550
σ_{adm} [MPa]	600

Compresión

Se debe verificar que (P/A) < (σ_{adm})

(P/A)	σ_{adm}	Verifica?
32,26	600	VERDADERO

Pandeo

Se debe verificar que (P_p) > (P)

$$P_p = \frac{\pi^2 E I}{L^2}$$

P_p [N]	P [N]	Verifica?
172816,40	50000	VERDADERO

4.1.2 Toma del cilindro

Uno de los extremos de la máquina cierra con un travesaño que es de particular importancia, dado que es el punto de reacción del cilindro hidráulico y por lo tanto el que está sometido a un mayor valor de esfuerzo.

El diseño del mismo se realiza como se indica en la Figura 4.5 para permitir una toma del cilindro con la menor extensión de máquina posible.

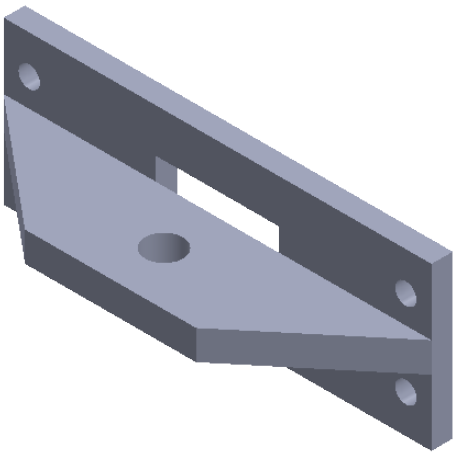


Figura 4.5: Diseño del extremo toma de cilindro

Para el cálculo se asume que se trata de una viga simplemente apoyada con una carga central. Si bien esto no es estrictamente el caso debido a que los perfiles longitudinales aportan un grado de restricción al giro de los extremos, esto proporciona un sobredimensionamiento que es deseable en este caso.

Para el dimensionamiento se adopta una metodología recursiva, consistente en ir ajustando las medidas de los componentes de la misma hasta que la sección verifica la resistencia. Dichos cálculos se indican en el apartado B.1.

Las medidas del mismo se adjuntan en el Plano 2.

4.1.3 Cierre de la estructura

El cierre de la estructura se realiza con unos rigidizadores dispuestos a lo largo de la estructura, de forma de garantizar la separación y proveer un comportamiento conjunto de ambos elementos longitudinales al pandeo. Los mismos se adoptan como barras de acero de 20 x 40 mm.

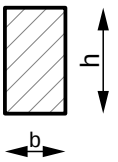
4.1.4 Fijación de la probeta

Para la fijación de la probeta se utiliza el cierre inferior compuesto por los dos perfiles UPN y dos travesaños de traba que se fijan al bastidor exterior mediante dos perforaciones rectangulares en los mismos.

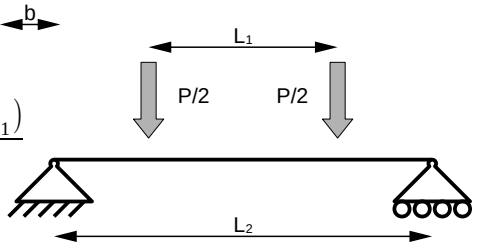
El cálculo de los mismos arroja los siguientes valores

h	60	mm
b	25	mm
W	15000	mm³
P	100	kN
L_1	150	mm
L_2	304	mm
M	3850000	N.mm
σ_f	256,7	MPa

$$W = \frac{b\,h^2}{6}$$



$$M = \frac{P\left(L_2 - L_1\right)}{4}$$



con lo cual se realizarán con dos barras rectangulares de SAE 1045 de 25 x 60 mm (1” x 2,5”) para resistir el esfuerzo de flexión al que estarán sometidos.

4.2 Bastidor interior

El bastidor interior debe deslizarse sobre el exterior longitudinalmente. Su principal función es sujetar la lámina de PRFV, sometiéndola a una ligera precarga de tracción, y transmitir a la misma el movimiento del actuador.

El mismo se muestra en el Plano 3.

4.2.1 Elementos longitudinales

Los elementos longitudinales son los mismos que los del bastidor exterior, es decir un perfil C6x8,2 según IRAM-IAS U 500-509-4.

Dado que se trata de elementos mas cortos estarán en mejores condiciones en cuanto al pandeo, y en las mismas condiciones a tracción y compresión.

Sobre el alma de la misma se practican unas ventanas alargadas en sentido longitudinal que permiten pasar los travesaños que retienen el bloque de hormigón en sentido longitudinal.

4.2.2 Cierre transversal lado celda

El cierre del bastidor interior del lado celda, el cual va soldado a los elementos longitudinales del mismo, cumple la doble función de ser la unión a la celda de carga a través de la pieza de acople Celda de carga – Bastidor interior, punto 4.2.4, y de ser soporte de una mordaza, punto 4.2.5. Su diseño general se muestra en la Figura 4.6.

Los dos agujeros auxiliares que se ven en la figura son para absorber el esfuerzo de giro

al momento del ajuste de las mordazas, algo que se verá oportunamente en el punto 4.2.5.

Debido a que dicho cierre se realiza con el mismo material que la toma de cilindro descripta en el punto 4.1.2, el cual se encuentra sometido a peores condiciones de esfuerzo, no se realizará un precálculo de esta pieza.

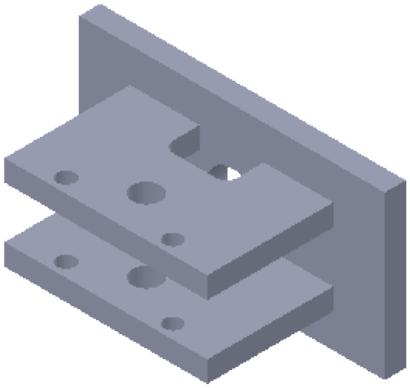


Figura 4.6: Vista del cierre transversal del bastidor interior. Lado celda.

4.2.3 Cierre transversal lado de pretensado

El diseño básico de esta pieza es igual al cierre transversal del lado celda, como puede observarse en la Figura 4.7, con la diferencia que el agujero de la toma de mordaza se encuentra alargado para permitir el deslizamiento del perno de amarre de la mordaza y en la base se practican cuatro agujeros por los que se introducirán dos piezas en forma de herradura (varillas roscadas), mediante las cuales se tira del perno de amarre de la mordaza para lograr el pretensado. El valor de esfuerzo de dicho pretensado no se medirá ni controlará, sino que quedará a discreción de los operadores el valor que se le dará a mismo.

Se adoptan las mismas provisiones respecto al cálculo que en el cierre lado celda.

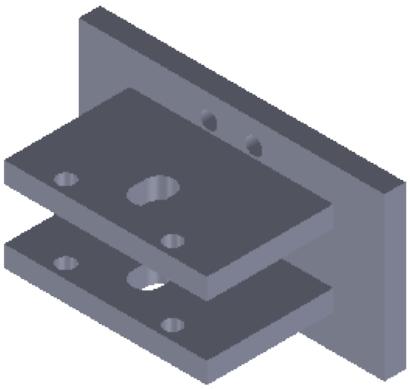


Figura 4.7: Vista del cierre transversal del bastidor interior. Lado pretensado.

Ambos cierres transversales se describen en el Plano 4.

4.2.4 Piezas de acople Celda de carga – Bastidor interior

Estas piezas tienen la función de vincular la celda de carga con el cilindro hidráulico, el cual está provisto en su vástago con una rosca de 1 ¾" x 12 hilos. Del otro lado, tienen la función de acoplar la celda con el bastidor interior permitiendo también su desacople. Esto es necesario a fin de facilitar el armado del conjunto.

Su diseño es muy sencillo, constando de dos piezas conjugadas que se unen por medio de un pasador, que en este caso es una alambre de acero APL 1700 de 7 mm de diámetro según la Norma IRAM/IAS U500-517. Este es un acero con una valor de límite elástico $R_{p0,2}$ de 1 500 MPa, por lo que, teniendo en cuenta una relación de resistencia al corte de 85 % de la resistencia a la tracción y dos secciones de corte, tenemos que

$$P_{elastico} = 2\left(0{,}85\, R_{p\,0{,}2}\right) S_0$$

$$P_{elastico} = 98135{,}5\,\mathrm{N} \approx 98{,}15\,\mathrm{kN}$$

Si bien esto es ligeramente por debajo de la carga de diseño, se decide adoptar esta solución al tener en cuenta lo siguiente:

- El valor de $R_{p0,2}$ es un valor característico, es decir que tiene probabilidad del 95 % de ser superado en un alambre real.
- Es extremadamente fácil reemplazar dicho pasador en caso de sufrir alguna deformación.
- Se estima que la posibilidad de llegar a la carga de diseño durante los ensayos es muy baja.

Las piezas se detallan en el Plano 6.

4.2.5 Mordazas

Para la sujeción de la lámina de refuerzo de PRFV se consideraron dos alternativas: el anclaje por adherencia mediante el uso de resinas epoxi de las mismas características que la unión PRFV-hormigón y el anclaje por medios mecánicos. También se plantea la posibilidad de una combinación de estos métodos.

La adherencia, si bien es un buen método para la sujeción de este tipo de materiales, presenta la desventaja del tiempo de curado y endurecimiento de la misma. Esto exigiría bien o fabricar una cantidad elevada de mordazas, o realizar los ensayos con una mayor separación temporal para permitir el curado adecuado de las muestras.

Un adecuado anclaje por adherencia exige, además, una superficie de adherencia mayor a la de la unión PRFV-hormigón, lo que impone dimensiones significativas a los elementos de amarre.

Por lo expuesto anteriormente se deciden realizar mordazas de anclaje mecánico.

En este punto se plantean dos posibilidades: usar un juego de mordazas existente tipo cuña con superficie de amarre dentado, de capacidad máxima 60 000 lbf (~270 kN, Figura 4.8) o fabricar unas mordazas a medida que sujeten las láminas de refuerzo de PRFV por fricción, accionadas por aprieto mecánico con tornillos.

El juego de mordazas existentes plantea dos dificultades principales, que son su tamaño y masa, con un largo de 205 mm y una masa aproximada de 40 kg. También se presentan problemas de accionamiento, ya que las mismas están diseñadas para trabajar en posición vertical donde el peso propio de las cuñas realizan el acomodamiento de las mismas, y el hecho de que al ser mordazas dentadas se teme que las mismas resulten muy agresivas con el material a sujetar, destruyendo parte de las fibras y disminuyendo la resistencia de la lámina de PRFV.

Finalmente se toma la decisión de realizar mordazas a medida. Las mismas están compuestas de tres cortes de chapa a pantógrafo como se indica en la Figura 4.9. El apriete se produce mediante seis tornillos de M16 o bien UN ⅝”. También se proveen cuatro agujeros de 6 mm donde van alojadas espinas elásticas con el fin de proveer una guía de centrado de la lámina de PRFV como así también garantizar un montaje más preciso del cierre de la mordaza. También se proveen dos agujeros auxiliares en los cuales, durante el aprieto de las mordazas, se introducen pasadores que absorben el

momento de ajuste de los tornillos. Dichos pasadores se retiran durante el ensayo para permitir el autoalineamiento del sistema mordazas – láminas de PRFV.



Figura 4.8: Vista de las mordazas tipo cuña de ~ 270 kN

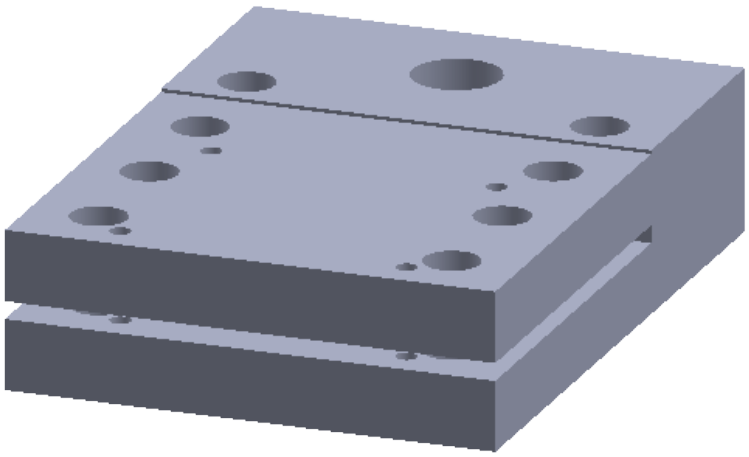


Figura 4.9: Diseño de las mordazas de la lámina de PRFV

Las mordazas pueden verse en el Plano 5.

4.3 Soporte y deslizamiento del bastidor interior

El soporte del bastidor interior se realiza restringiendo los grados de libertad de movimiento al desplazamiento del bastidor interior por el eje longitudinal del bastidor exterior.

Una posible solución son los patines de rodillo sobre raíl tales como los provistas por SKF y Bosch Rexroth. Las mismas se muestran en la Figura 4.10. Los patines de rodillo sobre raíles se han desarrollado específicamente para máquinas herramienta, robots industriales, la ingeniería mecánica general, etc. y guías largas y compactas con cojinetes de rodillos con diversas clases de precisión y una muy elevada capacidad de carga y gran rigidez.



Figura 4.10: Patines de rodillo sobre raíl.

Si bien ofrecen una solución excelente para nuestra aplicación, tienen el inconveniente de requerir una perfecta alineación de los patines y los raíles, haciendo necesario mecanizar la zona de asiento de los mismos y exigiendo una fabricación con tolerancias muy estrechas de los bastidores. También tienen un precio elevado.

Otra posibilidad es aprovechar la forma de los perfiles e introducir soportes entre los bastidores que consisten en rodamientos rígidos de bolas unidos con tornillos a los mismos como se indica en la Figura 4.11. En la misma se muestra el guiado en sentido horizontal a la izquierda y el guiado vertical a la derecha. Los perfiles funcionan así como guías longitudinales. Como ventajas principales tenemos la inmediata disponibilidad de los mismos y su bajo costo. También permiten mayores tolerancias de fabricación de los bastidores.

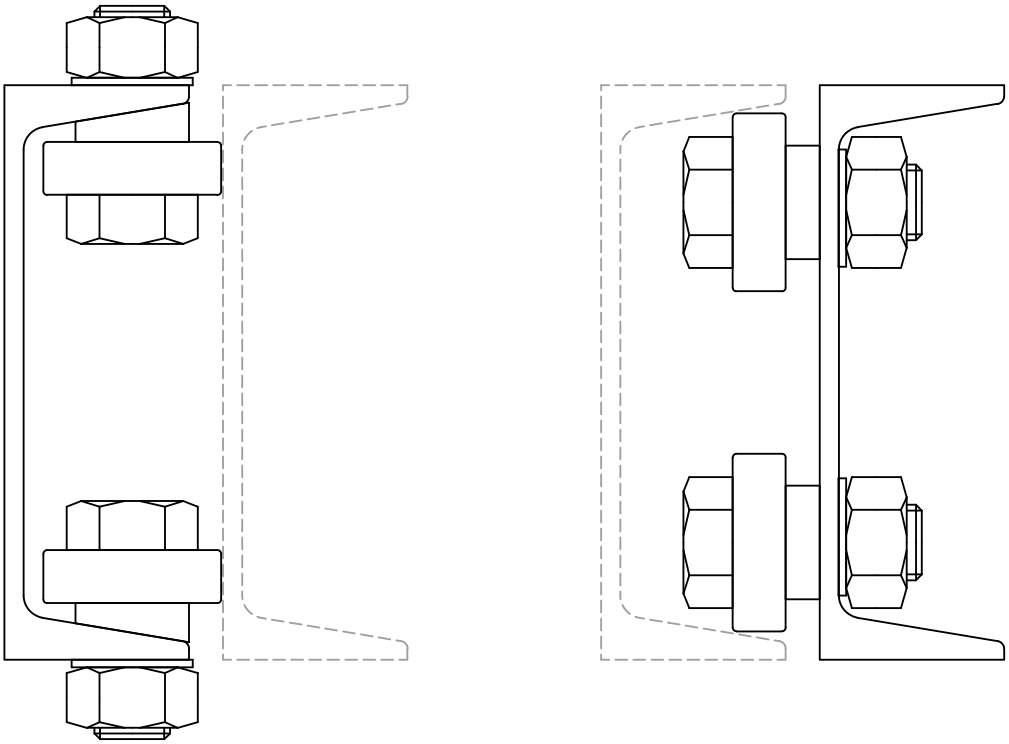


Figura 4.11: Guías de bastidores utilizando tornillos y rodamientos rígidos de bolas.

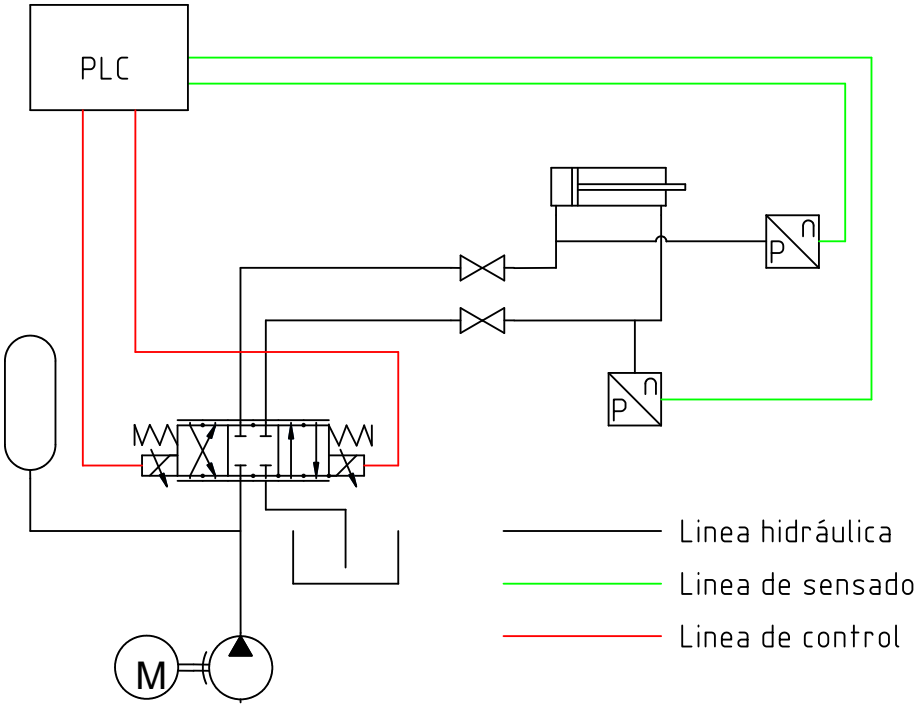
Este método presenta el inconveniente de tener mayor fuerza de rozamiento entre los bastidores ya que la guía es el ala del mismo perfil sin mecanizar. Además es de esperar que exista un juego apreciable, de algunos mm, entre ambos bastidores, para acomodar la tolerancias geométricas y dimensionales de los perfiles.

Capítulo 5: Accionamiento hidráulico

Para el accionamiento hidráulico se utilizan componentes existentes, por lo que en este capítulo calcularemos las exigencias del ciclo de trabajo para seleccionar los componentes más adecuados.

Se cuenta con una variedad de cilindros hidráulicos de doble efecto, del fabricante Palao Oleohidráulica, y con una central hidráulica moderna Bosch-Rexroth, con servoválvulas para el accionamiento con una frecuencia máxima de 10 Hz, dentro de ciertas limitaciones de caudal y presión, y dos bombas separadas de diferentes potencias; una de 11 kW y otra de 60 kW.

El circuito hidráulico y los componentes electrónicos que lo complementan se indican en la figura .



5.1 Selección del cilindro hidráulico

La presión de trabajo depende de la selección del cilindro actuador y está limitada por la

presión máxima del tipo de bomba disponible y por la capacidad de los sellos de los cilindros, la que sea menor.

Para el accionamiento se disponen de tres tipos de cilindros hidráulicos, a saber

- Cilindro de doble efecto de 4 pulgadas con vástago de 2 pulgadas.
- Cilindro de doble efecto de 5 pulgadas con vástago de 2 pulgadas.
- Cilindro de doble efecto de 6 pulgadas con vástago de 3 pulgadas.

Las limitaciones de presión máxima son las siguientes:

- Bomba Bosch-Rexroth: 240 bar (24 MPa).
- Sellos de cilindros: 120 bar (12 MPa).

Estos datos se resumen en la Tabla 5.1, como así también las fuerzas máximas teóricas de tiro y empuje para una presión máxima de 12 MPa.

Tabla 5.1: Propiedades de los cilindros hidráulicos

	Diámetro del émbolo [mm]	**Diámetro del vástago [mm]**	**Sección de empuje [m²]**	**Sección de tiro [m²]**	**Fuerza máxima de empuje [kN]**	**Fuerza máxima de tiro [kN]**
Cilindro 4”	101,6	50,8	8,107E-03	6,080E-03	97,3	73,0
Cilindro 5”	127,0	50,8	1,267E-02	1,064E-02	152,0	127,7
Cilindro 6”	152,4	76,2	1,824E-02	1,368E-02	218,9	164,2

De la tabla surge que la opción de accionamiento mas adecuado es el cilindro de 5 pulgadas, ya que el mismo permite alcanzar la fuerza máxima requerida con un mínimo de tamaño y desplazamiento de fluido hidráulico.

En el apartado A.2 se adjunta plano provisto por el fabricante.

5.2 Selección de la bomba de accionamiento

La bomba se selecciona con el criterio de ser la menor potencia disponible que satisfaga los requisitos del ciclo de trabajo.

La metodología de cálculo será determinar la potencia teórica y a ella sumarle las pérdidas y tener en cuenta los rendimientos.

5.2.1 Características del ciclo de trabajo

Comenzaremos caracterizando el ciclo de trabajo. Durante el mismo tendremos que tener

en cuenta tres variables que definirán las características del mismo: la fuerza f que ejerce el cilindro hidráulico, la posición del cilindro o desplazamiento x con cero en el punto donde la fuerza es cero y la velocidad de desplazamiento v.

También haremos algunas simplificaciones y asumiremos ciertas características que si bien no son las que se presentan durante el ciclo real se consideran buenas aproximaciones y simplifican notablemente los cálculos.

Podemos establecer las siguientes relaciones entre las mismas:

- La fuerza y el desplazamiento están relacionados mediante una función lineal

$$f = k\,x$$

$$k = \frac{F_{max}}{X_{max}}$$

- El ciclo de trabajo es senoidal. Esto nos permite escribir lo siguiente

$$f = F_{max}\sin(\omega t)$$

$$x = X_{max}\sin(\omega t)$$

$$v = \dot{x} = X_{max}\,\omega\cos(\omega t)$$

  donde

$$\omega = 2\,\pi\,frec = 6{,}28\,\mathrm{s}^{-1}$$

- El ciclo es no conservativo. Durante las etapas del ciclo en que la fuerza y la velocidad son de sentido opuesto, se considera que la energía no vuelve al sistema sino que se disipa la energía elástica almacenada mediante la descarga directa al depósito del fluido hidráulico.

La potencia necesaria N podemos expresarla tanto en términos de la fuerza y la velocidad como en términos de la presión y el caudal.

$$N[\mathrm{W}] = f[\mathrm{N}]\,v[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}] = p[\mathrm{Pa}]\,Q[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}]$$

De todo lo expresado hasta aquí podemos establecer las relaciones dinámicas que se muestran en la Figura 5.1.

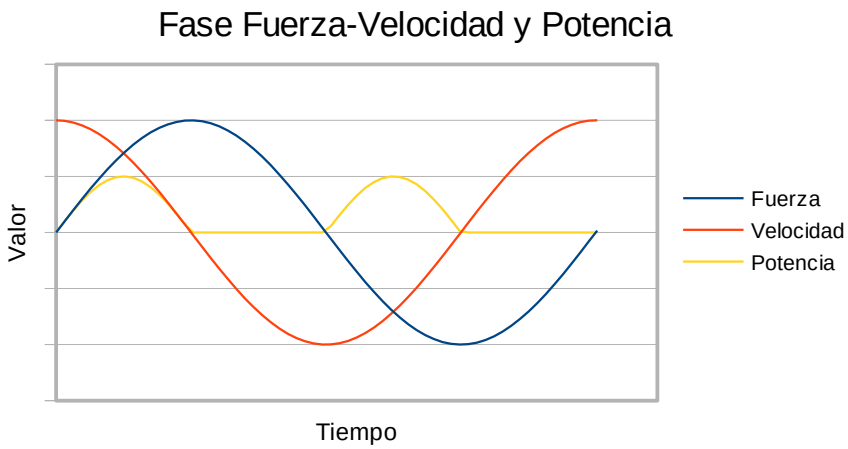


Figura 5.1: Fase entre fuerza y velocidad durante un ciclo de carga.

5.2.2 Cálculo del desplazamiento máximo necesario

Si bien nuestro valor de X_{max} está bien establecido por ser uno de los requisitos de diseño establecidos en el apartado 2.1.4, el valor de desplazamiento X_{max} depende de las deformaciones de los elementos individuales de la cadena cinemática. Consideramos los siguientes elementos: hormigón (al corte), lámina de PRFV, bastidor, viga transversal del toma del cilindro, el vástago del cilindro y la celda de carga. Los cálculos realizados se describen en el apartado B.2.

Del valor hallado

$$X_{max} = 0{,}01\,\mathrm{m}$$

tenemos que

$$v_{max} = X_{max}\,\omega = 0{,}01 . 6{,}28 \approx 0{,}065\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

5.2.3 Potencia de pico teórica

La potencia teórica necesaria la calculamos de acuerdo a lo que se había establecido en el punto 5.2.1.

$$N = F_{max}\sin(\omega t)\,v_{max}\cos(\omega t) = F_{max}\,v_{max}\sin(\omega t)\cos(\omega t)$$

Dado que

$$\sin(2\alpha) = 2\sin(\alpha)\cos(\alpha)$$

tenemos entonces

$$F_{max} v_{max} \sin(\omega t)\cos(\omega t) = \frac{F_{max} v_{max}}{2} \sin(2\omega t)$$

de donde la potencia de pico teórica es

$$N_{max} = \frac{F_{max} v_{max}}{2}$$

$$N_{max} = \frac{10^5 \text{N} . 0{,}065 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2} = 3250 \text{ W}$$

5.2.4 Potencia de pérdidas hidráulicas

Para calcular las pérdidas hidráulicas consideraremos únicamente media carrera de trabajo, desde $+X_{max}$ a $-X_{max}$, ya que este comprende un ciclo completo de trabajo desde el punto de vista de la potencia consumida.

Para la pérdida de carga en los conductos utilizamos la ecuación de Darcy – Weisbach [9].

$$h_f = f_d \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = f_d . \frac{8 L Q^2}{g \pi^2 D^5}$$

donde f_d es el factor de fricción de Darcy, el cual se aproxima por la siguiente ecuación

$$f_d = \begin{cases} \text{Re} < 2000 & \Rightarrow & \frac{64}{\text{Re}} \\ 2000 \leq \text{Re} < 4000 & \Rightarrow & 0{,}0000039\,\text{Re} + 0{,}0242 \\ \text{Re} \geq 4000 & \Rightarrow & \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \end{cases}$$

donde Re es el número de Reynolds

$$\text{Re} = \frac{\rho \, \text{v} \, d}{\mu} = \frac{4 Q}{\pi \nu d}$$

Para las pérdidas de carga localizadas utilizamos la ecuación general

$$h_i = K_i \frac{v^2}{2g}$$

donde K_i es una constante para cada tipo de restricción. Valores típicos de los valores K

pueden encontrarse en [9] y [10].

Finalmente, tendremos que las pérdidas de carga totales son

$$h=\sum_i f_{d_i}\frac{L_i v_i^2}{D_i 2g}+\sum_j K_j\frac{v_j^2}{2g}$$

Los datos del densidad y viscosidad del aceite se obtienen de datos del fabricante, los cuales se adjuntan en el apartado A.3.

En el apartado B.3 se exponen los cálculos, obteniendo un valor

$$N_{max}=3667\ \mathrm{W}$$

La potencia de pico resultante necesaria, teniendo en cuenta las pérdidas, es un 12,84 % superior a la teórica. Teniendo en cuenta la gráfica de potencia teórica que se muestra en la Figura 5.1, y superponiendo a la misma la potencia disipada por las pérdidas calculadas durante media carrera de trabajo desde $+X_{max}$ a $-X_{max}$, obtenemos la gráfica de potencia requerida que se muestra en la Figura 5.2. Finalmente, componiendo ambas obtendremos la Figura 5.3

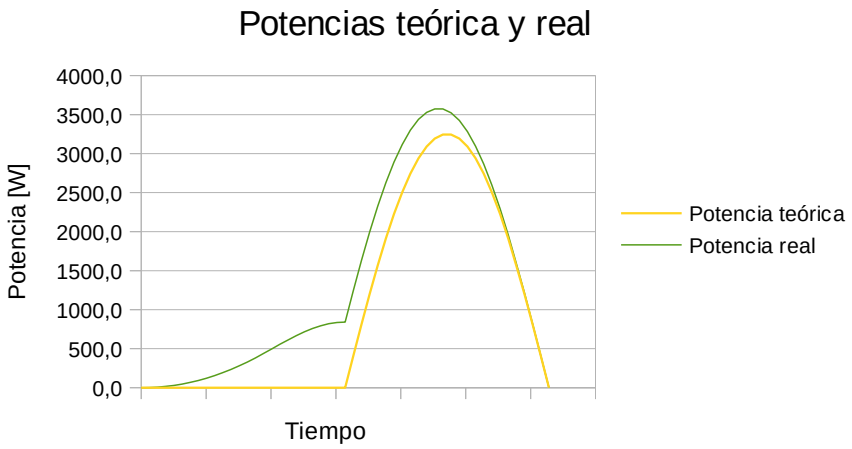


Figura 5.2: Potencia requerida durante medio ciclo de trabajo desde +X_{max} a -X_{max}.

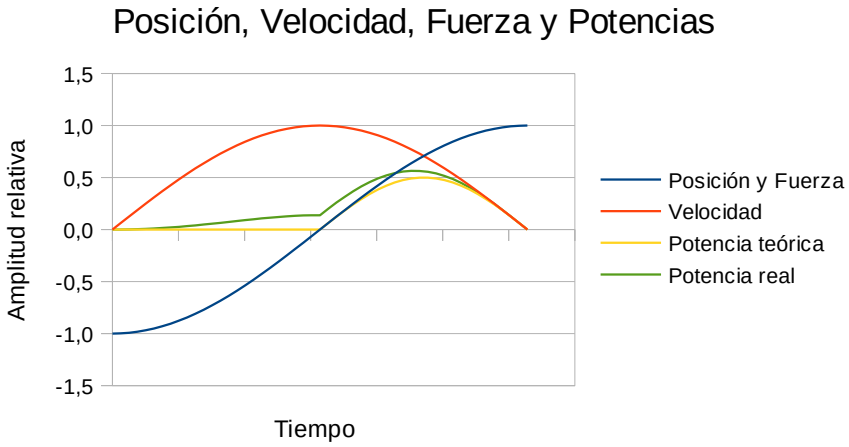


Figura 5.3: Fase entre fuerza, velocidad y potencias teórica y real.

5.2.5 Rendimientos

Consideraremos principalmente los rendimientos volumétricos y mecánicos de la bomba hidráulica, estimados de forma conservadora en 0,9 para ambos tipos. Por lo tanto

$$N = \frac{N_{max}}{\eta_{vol}\,\eta_{mec}} = \frac{3667}{0{,}9\,.\,0{,}9} = 4527\ \text{W}$$

5.2.6 Potencia total requerida

La potencia calculada en el apartado 5.2.5 es la requerida en las peores condiciones de trabajo, es decir la máxima carrera con la máxima carga de diseño. Es de esperar que durante el trabajo real no se alcancen dichos valores de forma simultánea. También, al tener en cuenta que la bomba hidráulica cuenta con un acumulador, el cual acumula energía durante las fases del ciclo de trabajo donde la potencia requerida es más baja, por lo cual el sistema se encuentra en un estado más favorable aún.

Con esto seleccionamos la bomba de 11 kW disponible, ya que la misma cumple con creces los requisitos de potencia necesarios.

Capítulo 6: Sistema de medición

El sistema de medición debe cumplir con los requisitos que se establecieron en el apartado 2.1.2.

Una de las formas de lograr una medición precisa y segura de fuerzas es mediante celdas de carga e indicadores digitales. Esto proporciona un método probado y económico para lograr dichos requisitos.

Como además se necesita un registro continuo de las fuerzas, el indicador digital deberá bien o grabar o transmitir a una PC las mediciones realizadas con la suficiente frecuencia para no perder los valores de picos máximos. Para ello el mismo deberá disponer de algún tipo de enlace digital o sistema de registro interno.

Teniendo en cuenta estas características, se propone adoptar un sistema de medición como el representado esquemáticamente en la siguiente figura:



Figura 6.1: Esquema del sistema de medición y adquisición de datos

6.1 Frecuencia de muestreo

Para determinar la frecuencia mínima de registro, vamos a poner un valor máximo al error que surge de muestrear a frecuencias discretas del 0,5 %, suponiendo formas de onda sinusoidales.

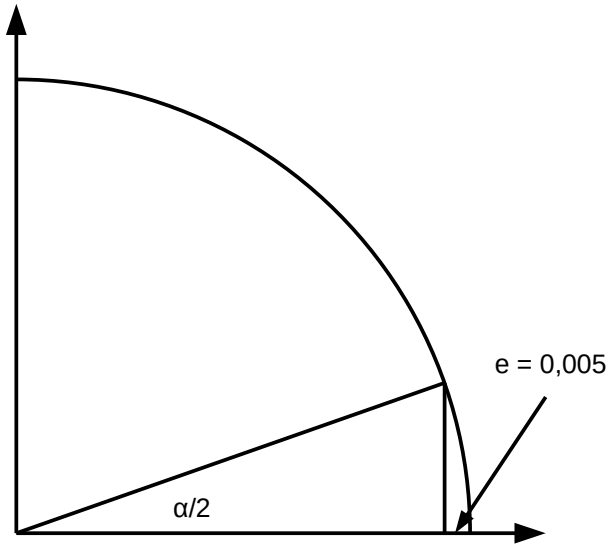


Figura 6.2: Error máximo y frecuencia mínima de muestreo

Como puede verse en la Figura 6.2, para un error máximo admisible de 0,5 % (0,005) se tiene que el ángulo máximo α/2 que deriva de la frecuencia de muestreo tiene que cumplir la condición

$$1-\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)<0{,}005$$

Dado que

$$\alpha=\frac{2\,\pi\,frec}{N}$$

siendo N la cantidad de muestras por segundo de muestreo, se pueden establecer

$$\cos\left(\frac{2\,\pi\,frec}{2\,N}\right)>0{,}995$$

$$\frac{\pi\,frec}{N}<\arccos\left(0{,}995\right)$$

$$N>\frac{\pi\,frec}{\arccos\left(0{,}995\right)}$$

Como la frecuencia de trabajo es de 1 Hz, resulta en una tasa de muestreo de

$$N>31{,}4$$

muestras por segundo.

6.2 Elemento de medición (Celda de carga)

Como elemento de medición se disponen de dos celdas de carga de características similares:

- Celda de carga marca REACCIÓN.
- Celda de carga BLH.

6.2.1 Celda de carga REACCIÓN

Se trata de una celda de carga tipo S, modelo CZC, de 10 tf de capacidad (100 kN), fabricada por la firma FLEXAR S.A. La fábrica no provee un folleto de la misma, solamente un plano que se adjunta en el apartado A.4. Sin embargo en la página del mismo pueden encontrarse las mismas que se reproducen en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Características de la celda de carga REACCIÓN CZC 10 TN

Característica	Valor
Tipo de celda	CZC
Capacidad (kg)	10 000
Familia	Tracción
Aplicación	Industriales
Clase de precisión (OIML R60)	C3
Numero máximo de intervalos de verificación (n_{max})	3 000
V_{min} Relativo (Y)	6 000
Sensibilidad (mV/V)	2
Tolerancia de la Sensibilidad (% CN)	20
Error de linealidad (% CN)	0,03
Creep (% CN)	0,03
Corrimiento del cero con la temperatura (% CN)	0,003
Histeresis (% CN)	0,02
Corrimiento de la sensibilidad con la temperatura (% CN)	0,001 5
Limite de sobrecarga (% CN)	150
Limite de rotura (% CN)	300
Deflexión a capacidad nominal (mm)	0,6
Tensión máxima de Alimentación (V)	15

6.2.2 Celda de carga BLH

Se trata de una celda tipo *canister*, modelo TXX, capacidad 20 000 lbf (88,96 kN), fabricada originalmente por Baldwin-Lima-Hamilton, firma que luego de varias

adquisiciones se convirtió en la actual BLH-Nobel. Esta es una celda de carga de bastante antigüedad de la cual no se tienen las especificaciones. Dicho modelo ya no es fabricado pero puede encontrarse un modelo sustituto, la U3. Las características de la misma se detallan en la Tabla 6.2. La única diferencia evidente con el modelo TXX es que éste último presenta una salida de 2 mV/V a fondo de escala, lo mismo que la celda REACCIÓN. El folleto de la misma se adjunta en el apartado A.5.

Tabla 6.2: Características de la celda de carga BLH U3 20k lb

Característica	Valor
Type	U3
Capacity	20 k lb
Rated output (RO)	3 mV/V ± 0.25%
Non-Linearity	0.10% RO
Hysteresis—% RO	0.02%
Repeatability	0.02% RO
Creep (20 min.)	0.03% RO
Variance Ten – Cmp	0.015 mV/V max.
Recommended Excitation	10 VAC-DC
Zero Balance	1.0% RO
Input Resistance	350 Ω ± 3.5 Ω
Output Resistance	350 Ω ± 3.5 Ω
Temperature – Safe Range	-30 to +175°F
Temperature – Compensated Range	+30 to +130°F
Temperature – Effect on Zero Balance	0.001 5 % RO/°F
Temperature – Effect on Rated Output	0.005% load/°F
Safe Overload	150% RO
Max Overload	300% RO

6.2.3 Selección de la celda de carga

Si bien la sobrecarga en la celda BLH no es significativa a la hora de tomar una decisión, de sólo un 12,4 %, se selecciona la celda REACCIÓN debido a dos factores decisivos: un menor costo de reposición en caso de rotura y la inmediata disponibilidad de la misma dado que es de fabricación nacional.

6.3 Indicador digital

En la selección del indicador digital se consideraron tres posibilidades:

1. Indicador digital SIPEL ATLAS.

2. Indicador digital GSE 350.

3. Sistema de adquisición de datos National Instruments.

6.3.1 Indicador digital SIPEL-ATLAS

Uno de los indicadores utilizados ampliamente en el IMAE en la digitalización y adquisición de datos para las máquinas de ensayo estáticas es el indicador SIPEL-ATLAS, de la firma rosarina SIPEL SRL. El mismo tiene una resolución en display de 10 000 cuentas, una velocidad de conversión de 50 muestras por segundo y comunicación serie RS232.

Tabla 6.3: Características del indicador SIPEL ATLAS

Característica	Valor
Display	Display de 6 dígitos
Teclado	Teclado de membrana de 5 teclas
Comunicaciones	Serie RS232
Resolución interna	16 000 000 cuentas internas (24 bits)
Resolución display máxima	10 000 divisiones
Velocidad de conversión	50 conversiones por segundo
Sensibilidad mínima	1,00 µV / división
Máxima señal de celda	15 mV
Tensión de excitación	5 V, hasta 12 celdas de 700 Ohms
Cap. Máx. Programable	160 000 unidades
Incrementos programables	1,2,5,10,20,50 unidades
Tara	-Cap. Max.
Rango de temperatura	-5 ºC a 40 ºC
Alimentación	220 Vca

Un problema de este indicador es que en su configuración por defecto no admite indicación bidireccional, es decir en sentido de la tracción y la compresión. Esto puede solucionarse mediante un modo especial (llamado X10 en la documentación adjunta) el cual expande la capacidad de medición de mismo en ambos sentidos (señal positiva y negativa), teniendo una resolución 10 veces mayor y no limitándose al rango calibrado.

A este modo se accede mediante una combinación de pulsaciones de tecla y un switch oculto durante el encendido del mismo, lo que agrega cierta sobrecarga de operaciones al operario del mismo, aunque solamente durante el encendido y no en su posterior utilización.

6.3.2 Indicador digital GSE 350

En segunda instancia consideró un indicador digital GSE 350, fabricado por Avery Weigh-Tronix. El mismo tiene una resolución en display de 100 000 cuentas, una velocidad de conversión de 60 muestras por segundo y comunicación serie RS232. Como puede verse, sus prestaciones son similares a la del SIPEL-ATLAS en el modo X10.

Tabla 6.4: Características del indicador GSE 350

Característica	Valor
Display	Display de 6 dígitos
Teclado	Teclado de membrana de 5 teclas
Comunicaciones	Serie RS232
Resolución interna	1 000 000 cuentas internas (20 bits)
Resolución display máxima	± 100 000 divisiones
Velocidad de conversión	60 conversiones por segundo
Sensibilidad mínima	1,00 µV / división
Máxima señal de celda	15 mV
Tensión de excitación	5 V, hasta 12 celdas de 700 Ohms
Cap. Máx. Programable	160 000 unidades
Incrementos programables	1, 2, 5, 10, 20, 50 unidades
Tara	-Cap. Máx.
Rango de temperatura	-5 ºC a 40 ºC
Alimentación	220 Vca

Como ventaja de este indicador puede señalarse que la indicación es bidireccional en su configuración por defecto, además de poseer una mayor resolución que el SIPEL-ATLAS.

6.3.3 Sistema de adquisición NATIONAL INSTRUMENTS

Se cuenta además con un sistema de adquisición de datos NI CompactDAQ, compuesto de un chasis cDAQ-9174 y un módulo NI-9219 para la conexión de, entre otros tipos de sensores, celdas de carga. Dicho módulo tiene una resolución de 24 bits y una tasa de muestreo de 1,6 MS/s. Este es un equipo avanzado de adquisición de datos, soportando lecturas simultaneas de varios canales.

Como desventajas puede mencionarse la necesidad de utilizar el software provisto con el mismo, el cual resulta en una curva de aprendizaje de uso lenta. También puede mencionarse el precio del mismo, el cual –incluyendo el software– ronda los 20 000 u$s.

6.3.4 Elección del indicador

Teniendo en cuenta las características, ventajas y precios de los equipos enumerados, se selecciona un indicador SIPEL-ATLAS, ya que la combinación de bajo precio, características aceptables e inmediata disponibilidad lo hacen particularmente adecuado para su uso en el presente proyecto.

Para la toma de datos del mismo se desarrolla un software simple de captura de datos, el cual no se describe por no formar parte de este proyecto.

6.4 Calibración del sistema

La calibración del sistema se realizó por comparación con una celda patrón de 200 kN, siguiendo los lineamientos generales de la Norma ISO 7500-1:2018.

Las limitantes que se encuentran a la hora de la realización de dicha calibración son las siguientes:

- El sistema de indicación de carga no puede calibrarse in situ como se requiere por norma, ya que la forma especial de la máquina no permite el montaje de la celda patrón en el espacio de la misma. Por lo tanto se opta por calibrar la celda de carga de la máquina por separado y luego montarla en la misma.
- Por cuestiones de sencillez, se calibra en un solo sentido (compresión). Se asume que el valor máximo de error de reversibilidad es menor al 0,5 %. Este valor, si bien no se ha medido ni está contemplado en la documentación del fabricante, es considerado estándar en las celdas de carga reversibles (ver valor en la celda BLH U3 en la Tabla 6.2).
- La finalidad de la misma es, principalmente, establecer una curva de calibración que convierta divisiones en el indicador digital a fuerza. Luego se contrasta la bondad del ajuste con la tabla de clases que figura en la norma ISO 7500-1 y que se reproduce en la Tabla 6.5. Esto no está contemplado en la norma ISO.

Tabla 6.5: Tabla de clases según ISO 7500-1:2018

Clase de la escala de la máquina	**Valor máximo permitido %**				
	Error relativo de				**Resolución relativa** *a*
	Indicación *q*	**Repetibilidad** *b*	**Reversibilidad**[a] *v*	**Cero** f_o	
0,5	± 0,5	0,5	± 0,75	± 0,05	0,25
1	± 1,0	1,0	± 1,5	± 0,1	0,5
2	± 2,0	2,0	± 3,0	± 0,2	1,0
3	± 3,0	3,0	± 4,5	± 0,3	1,5
[a] El error relativo de reversibilidad sólo se determina cuando se solicita.					

Las curvas de calibración [11] en el área de fuerza son generalmente polinomios de grado máximo 3 (ISO 376) o 5 (ASTM E74) que pueden o no pasar por cero (término independiente). Como en este caso disponemos solamente de datos en un sentido de carga, utilizaremos un polinomio de grado 1 (recta) ya que desconocemos el efecto de la curvatura de un polinomio de grado > 1 ajustado en un sólo sentido de carga en el sentido opuesto. También deseamos que a fuerza cero nuestros instrumentos marquen cero, por lo que prescindiremos del término independiente. Finalmente, tendremos que nuestra curva de calibración tendrá la forma

$$F = a_0 + a_1 i$$

donde F es la fuerza aplicada en la celda de carga, $a_0 = 0$ y a_1 es el coeficiente a determinar.

Los datos obtenidos de la calibración que se muestran en la Tabla 6.6

Tabla 6.6: Valores obtenidos de la calibración

Carga de referencia [kN]	Valor indicado [div]	Valor obtenido de la regresión [kN]	Error de indicación [kN]	Error de indicación relativo [%]	Repetibilidad [%]
10	--	--	--	--	--
20	9990,4	19,9085	-0,0915	-0,46	--
40	20016	39,8872	-0,1128	-0,28	--
60	30043,6	59,8699	-0,1301	-0,22	--
80	40080	79,8701	-0,1299	-0,16	--
100	50148,6	99,9345	-0,0655	-0,07	--
10	4993,6	9,9511	-0,0489	-0,49	--
20	10017,8	19,9631	-0,0369	-0,18	--
40	20056,8	39,9685	-0,0315	-0,08	--
60	30107,6	59,9974	-0,0026	0,00	--
80	40168,8	80,0471	0,0471	0,06	--
100	50222,4	100,0815	0,0815	0,08	--
10	5012,4	9,9885	-0,0115	-0,11	0,37
20	10036,4	20,0002	0,0002	0,00	0,46
40	20083,8	40,0223	0,0223	0,06	0,34
60	30129,6	60,0413	0,0413	0,07	0,29
80	40173,8	80,0570	0,0570	0,07	0,23
100	50251,2	100,1389	0,1389	0,14	0,20

Estos valores fueron obtenidos a partir de una regresión lineal entre las dos primeras columnas, cuyo resultado es

Coeficiente	Valor
a_1	0,00199276697735742
a_0	0

Con estos valores y con una resolución en el indicador de 0,2 divisiones, la resolución resultante en fuerza es 0,000 4 kN.

Luego podemos concluir que, para el rango de valores contrastados, los valores obtenidos podrían caer dentro de la clase 0,5 de máquinas de ensayo. Sin embargo, y debido a las limitaciones expuestas anteriormente, podemos asumir que nuestro sistema de medición de cargas tiene características compatibles con la clase 1 de la ISO 7500-1.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones técnicas

Desde el punto de vista técnico se lograron los objetivos de diseñar una máquina que realice los ensayos propuestos por el doctorando, teniendo en cuenta todos los requisitos de diseño y cumpliendo con las restricciones acordadas.

Cabe destacar que el diseño propuesto es específico para las muestras a ensayar, y que no hay provisión alguna de ensayar otro tipo de muestras o con otras dimensiones.

7.2 Conclusiones académicas

Durante el desarrollo del proyecto se utilizaron conocimientos aplicados de resistencia de materiales, diseño mecánico, hidráulica industrial, mecánica de los fluidos y de metrología. Se comprueba que los conocimientos incorporados durante la carrera son aplicables para encarar un proyecto de estas características.

7.3 Conclusiones económicas

Una de las principales limitaciones económicas, la de que los costos corren 100 % por parte del doctorando, logró sortearse exitosamente con la propuesta desarrollada. Si se comparan los costos afrontados, mayormente los cortes a pantógrafo a un precio promedio de u$s 2 por kg, gastos de tornillería y algunos rodamientos estándar, el mismo es despreciable respecto el costo que tiene una máquina de dichas características.

Sin embargo, no hay que perder de vista el hecho de que los elementos de mayor costo, a saber

1. La central hidráulica.
2. Las servoválvulas y el sistema de control.
3. El cilindro hidráulico.

4. La celda de carga y el indicador digital.

son de muy alto costo, especialmente los dos primeros, y su inmediata disponibilidad sin erogación alguna es lo que justifica que este proyecto sea económicamente ventajoso.

7.4 Recomendaciones

Ninguna.

Bibliografía

[1] Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures, 2017.

[2] Lopez, Rubén Edgardo. Comportamiento de refuerzos en hormigón armado con láminas de PRFV frente a efectos dinámicos, 2020.

[3] Busnelli, Alberto Pedro. Diseño del refuerzo de vigas de hormigón armado con láminas de PRFV, 2018.

[4] ISO 6892-1:2016 - Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature, 2016.

[5] IRAM/IAS U500-102:2016 - Materiales metálicos – Ensayo de tracción. Método de ensayo a temperatura ambiente, 2016.

[6] IRAM 1546 - Hormigón de cemento - Método de ensayo de compresión, 2013.

[7] ISO 7500-1:2018 – Metallic materials – Calibration and verification of static uniaxial testing machines – Part 1: Tension/compression testing machines – Calibration and verification of the force-measuring system, 2018.

[8] ASTM A-944 - Standard Test Method for Comparing Bond Strength of Steel Reinforcing Bars to Concrete Using Beam-End Specimens, 2010.

[9] Yeaple, Frank. Fluid Power Design Handbook, 1995.

[10] Herbert E. Merritt. Hydraulic Control Systems, 1991.

[11] Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM), 2012.

Anexo A: Folletos

En esta sección se adjuntan los folletos que se utilizaron para la confección de este proyecto.

A.1 Máquina INSTRON

INSTRON®

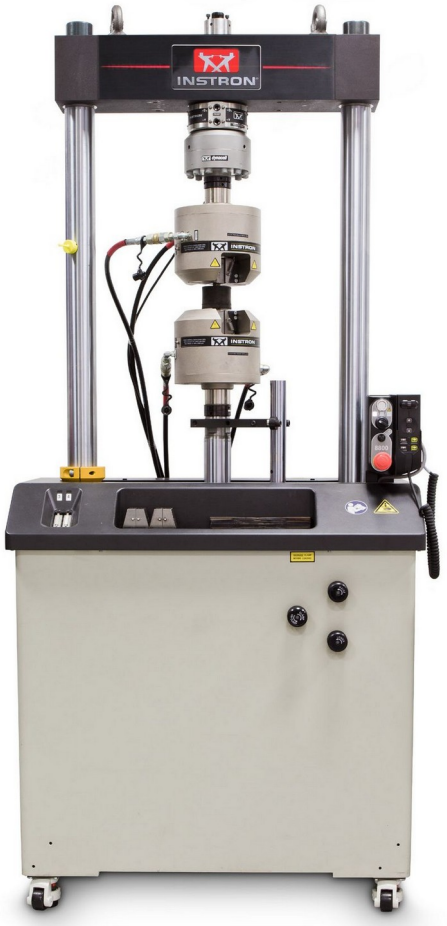
The difference is measurable®

8801 SERVOHYDRAULIC FATIGUE TESTING SYSTEM
Up to 100 kN

The Instron ® 8801 is a compact servohydraulic fatigue testing system that meets the challenging demands of various static and dynamic testing requirements. 8801 systems provide complete testing solutions to satisfy the needs of advanced materials and component testing, and are ideally suited for fatigue testing and fracture mechanics. The compact design of the 8801 frame makes it ideal for installation within any laboratory environment, generally without the need for strengthened floors or raised ceiling heights.

FEATURES

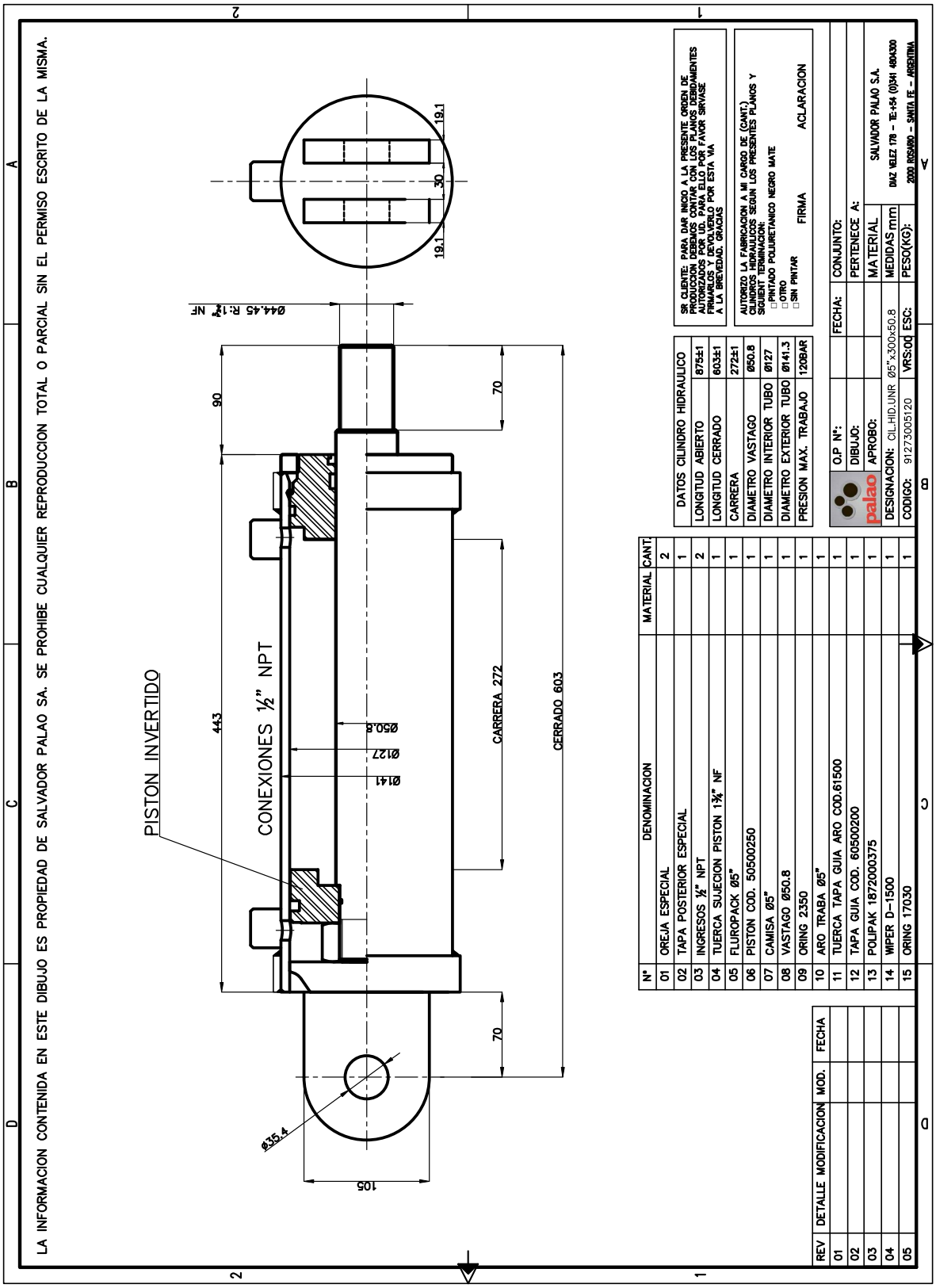
- Double-acting servohydraulic actuator with force capacity up to ±100 kN (±22 kip)
- High-stiffness, precision-aligned load frame with twin columns and actuator in lower base
- 150 mm (6 in) of usable stroke
- Designed for both dynamic and static testing on a variety of materials and components
- Choice of hydraulic configuration and dynamic performance to suit application
- Extra-height frame option for testing longer load strings
- Adjustable upper crosshead with hydraulic lifts and locks fitted as standard for easy adjustment of daylight
- Patented1 Dynacell™ advanced load cell technology for faster testing and reduction of inertial errors
- Compact servohydraulic fatigue test system – frame requires less than 0.5 m² (5.4 ft²) of floor space
- Hydrostatic bearing actuators for higher side-load resistance or material critical applications, such as low cycle fatigue (LCF)
- Designed to be used with the 3520 Series ofHydraulic Power Units
- Compatible with a large range of grips, fixtures, chambers, video extensometers, protective shields, and other accessories
- Patented stiffness based tuning algorithm that enables users to tune a variety of specimens in seconds



CONTROLLER AND SOFTWARE

The Instron 8801 is supplied with a digital 8800MT controller that provides full system control, including features such as stiffness based tuning, amplitude control specimen protect, 19-bit resolution across the full range of transducers, and adaptive control technology. It also allows access to WaveMatrix 2 Dynamic Testing Software, Bluehill Universal® Software for axial static tests, and other application specific software, such as the Low Cycle Fatigue or Fracture Mechanics suite.

A.2 Cilindro hidráulico PALAO 5”



A.3 Aceite Total AZOLLA

AZOLLA ZS



Aceite hidráulico

Aceite hidráulico antidesgaste de alto rendimiento

APLICACIONES

Circuitos hidráulicos

- Diseñado para su uso en todo tipo de sistemas hidráulicos que funcionan en las condiciones más difíciles, tales como en máquinas herramientas, en máquinas de inyección de moldes, prensas y otros equipos industriales y equipos móviles.
- También se utiliza en muchas otras aplicaciones en las que un lubricante universal anti desgaste de alto rendimiento es la primera opción: engranajes bajo cargas moderadas, de deslizamiento y rodamientos de rodillos, compresores de aire, servomotores y sistemas de control equipados con sistemas de filtración fina.

ESPECIFICACIONES

Especificaciones internacionales

- AFNOR NF E 48-603 HM
- ISO 6743/4 HM
- DIN 51524 P2 HLP
- CINCINNATI MILACRON P68, P69, P70
- DENISON HF0, HF1, HF2, (T6H20C)
- VICKERS M-2950S, -I-286

VENTAJAS

Larga vida útil

- Excelentes propiedades antidesgaste.
- Elevada estabilidad térmica asociada a una excepcional resistencia a la oxidación.
- Muy buena estabilidad a la oxidación asegurando un largo tiempo de servicio del fluido.

Gran fiabilidad

- Filtrabilidad notable incluso en presencia de agua.
- Muy buena estabilidad frente a la hidrólisis, asociada a una excelente filtrabilidad con o sin agua.
- Excelente anticorrosión, antiherrumbre, antiespumante (sin silicona)
- Buena desemulsión asegurando una rápida separación de agua.
- Costes reducidos de mantenimiento y operación

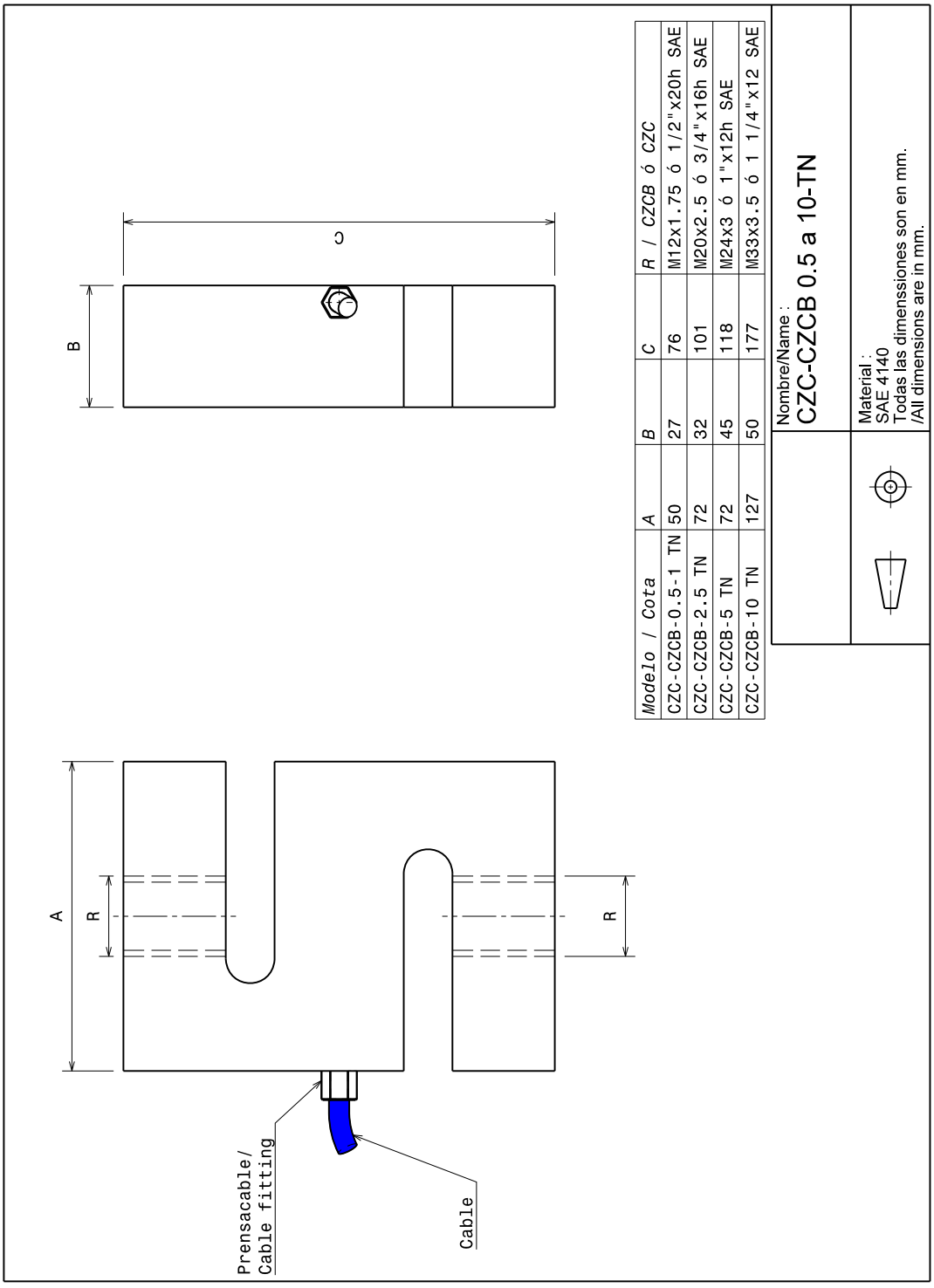
CARACTERÍSTICAS	MÉTODOS	UNIDADES	AZOLLA ZS						
			10	22	32	46	68	100	150
Aspecto (visual)	Interno/ASTM	-	Líquido límpido						
Densidad a 15 °C	ISO3675/D4052	kg/m^3	846	866	875	880	884	888	892
Viscosidad a 40 °C	ISO3104/D445	mm^2/s	10	22	32	46	68	100	150
Viscosidad a 100 °C	ISO3104/D445	mm^2/s	2,6	4,4	5,4	6,8	8,7	11,2	14.5
Índice de viscosidad	ISO2909/D2270	-	100	102	102	100	100	100	97
Punto de inflamación Cleveland	ISO2592/D92	°C	170	221	227	232	242	254	268
Punto de congelación	ISO3016/D97	°C	- 33	- 30	- 27	- 27	- 18	- 18	- 18
Filtrabilidad 0.8 µ sin agua	NF E 48-690	Índice (IF)	1	1	1	1.02	1.01	1.05	1.05
Filtrabilidad 0.8 µ con agua	NF E 48-691	Índice (IF)			1.5	1.5	1.5		

Las características mencionadas representan valores típicos.

TOTAL ESPAÑA, S.A.U.
Ribera del Loira, 46 - 28042 Madrid
Tel.: 91 722 08 40 - Fax: 91 722 08 62
AZOLLA ZS (1/1)

Este lubricante, empleado según nuestras recomendaciones y en las aplicaciones previstas, no presenta ningún riesgo particular.
Puede usted obtener a través de su delegado comercial los datos de seguridad conformes a la legislación vigente en la C.E.
Última actualización: 29-08-2014 (17-10-2011)

A.4 Celda REACCIÓN



Modelo / Cota	A	B	C	R / CZCB ó CZC
CZC-CZCB-0.5-1 TN	50	27	76	M12x1.75 ó 1/2"x20h SAE
CZC-CZCB-2.5 TN	72	32	101	M20x2.5 ó 3/4"x16h SAE
CZC-CZCB-5 TN	72	45	118	M24x3 ó 1"x12h SAE
CZC-CZCB-10 TN	127	50	177	M33x3.5 ó 1 1/4"x12 SAE

Nombre/Name :
CZC-CZCB 0.5 a 10-TN

Material :
SAE 4140
Todas las dimenssiones son en mm.
/All dimensions are in mm.

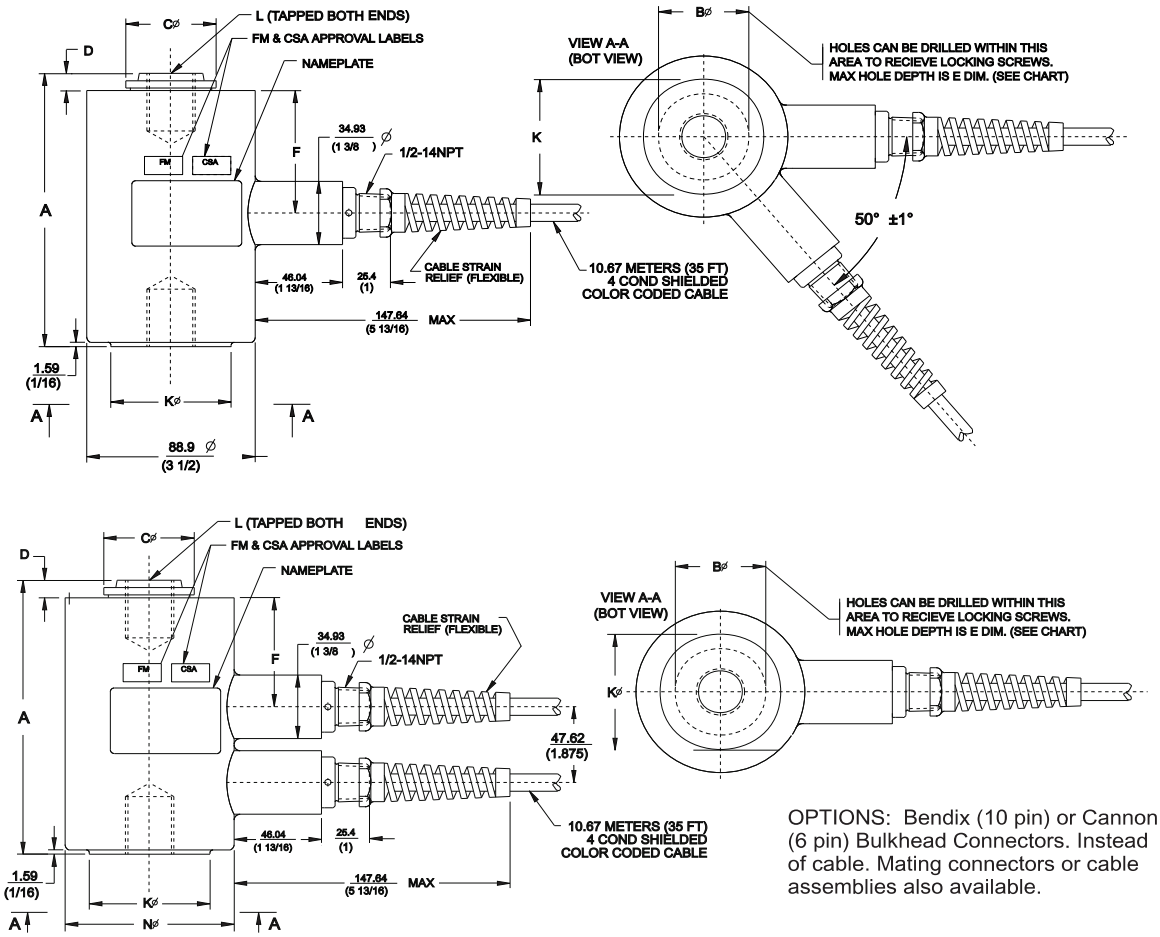
A.5 Celda de carga BLH U3G1

U3G1, U3G2, T3P1,T3P2

BLH NOBEL
A VPG Brand

Precision Force and Weight Measurement Canisters

OUTLINE DIMENSIONS



OPTIONS: Bendix (10 pin) or Cannon (6 pin) Bulkhead Connectors. Instead of cable. Mating connectors or cable assemblies also available.

Capacity (lb)	A	B DIA.	C DIA.	D	E	F	K DIA.	L (TAPPED)	N DIA.
500–3000	49/16	—	11/16	1/4	—	21/4	11/4	1/2-20UNF-2BX1/2DP	—
5000–10000	515/16	13/4	17/8	3/8	1/2	221/32	21/2	1-14UNS-2BX11/4DP	—
20000–30000	81/2	25/8	23/4	1/2	1	313/32	4	11/2-12UNF-2BX13/4DP	5
50000	117/16	33/4	4	5/8	1	415/32	53/4	2-12UN-2BX21/4DP	61/2
100000	173/4	43/4	51/2	11/8	1	73/8	73/4	3-8UN-2BX41/2DP	9

Capacity (lb)	500	1000	2/3000	5000	10000	20000	50000	100000
Weight (lb)	6	6	6	10	10	25	70	200
Delection in.	0.007	0.006	0.005	0.007	0.005	0.007	0.010	0.013
Nat. Freq @ Eff. Wt Hz/lb	1250/0.45	1800/0.50	2600/0.56	2200/1.5	3400/1.7	2400/5	1900/15	1350/43

A.6 Indicador SIPEL ATLAS

Indicador Atlas

El indicador Atlas brinda robustez y versatibilidad para procesos industriales de mediana complejidad.

Ficha técnica
Unidades: kg, g, l.
Alimentación: 220Vca (50/60 HZ).
Puerto: Serie RS-232 full duplex CTS/RTS.
Display: LCD 6 dígitos de 25mm de altura retroiluminados (blacklight).
Autocero: Configurable OFF/0.1 a 3 div.
Entrada de potencia: 4 optoaisladas
Salidas de potencia: 4 salidas, relé de estado sólido.
Ahorro de bateria: auto apagado de display y total configurable.
Seguridad: ingreso a ajuste protegido por clave o puente interno y precinto electrónico (contador de ingresos).

Funciones Incorporadas
- Contadora de piezas.
- Pesaje de animales vivos (estabilizador de peso)
- Cero protegido para pesaje de tanques.
- Ensayos de retención de máxima.
- Pesaje por ejes de vehículos.

Opcional
- Puerto USB a PC.
- Puerto de salida analógica 0-10V/4-20mA.
- Puerto RS485 Modbus (RTU/ASCII).
- Doble salida serie (PC+Display Repetidor.)
- Dosificación manual de 6 componentes.
- Embolsado con doble corte (grueso-fino) y autoajuste.
- Despacho con alarmas de mínima y máxima.

Impresión
- Ticket configurable (cabecera o membrete).
- Manejo de impresoras de ticket (Citzen/Epson) y de etiquetas (Eltron/Zebra).
- Guardado e impresión de reportes (peso y cantidad cumulada) en ticket o etiqueta.
- Impesión de código de barras en etiquetas.

Accesorios
- Módulo externo RS232 a TCP/IP (Ethernet).
- Módulo externo RS485 a Modbus TCP.
- Módulo externo RS485 a Profibus.
- Módulo externo de conexión inalámbrica Zigbee.
- Display repetidor de 6 dígitos (50 o 100mm de altura)
- Kit para conversión de balanzas mecánicas.
- Software Pesar para codificación y registro en base de datos.
- Software Legonet para trabajo en red.

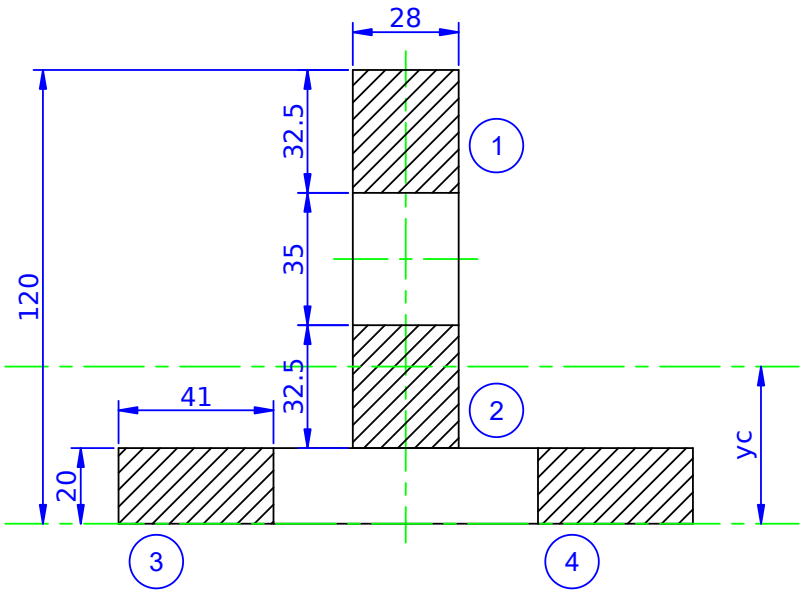
Juan M. de Rosas 2233
S2000FPK Rosario
Santa Fe - Argentina
+ 54 (341) 482 9180

+ 54 9 341 555 7399
ventas@sipel.com.ar
sipel.com.ar

Anexo B: Cálculos

B.1 Calculo del travesaño de toma de cilindro

Sección transversal



Propiedades

Sección	b_i [mm]	h_i [mm]	y_i [mm]	A_i [mm²]	Ix_i [mm⁴]
1	28	32,5	103,75	910	80099
2	28	32,5	36,25	910	80099
3	41	20	10	820	27333
4	41	20	10	820	27333

Centro de gravedad

Se cumple que

$$\sum A_i y_i = y_c \sum A_i \Rightarrow y_c = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$$

Sección	A_i [mm²]	$A_i\ y_i$ [mm³]
1	910	94412,5
2	910	32987,5
3	820	8200
4	820	8200

y_c [mm) ***41,56***

Inercia y momento resistente

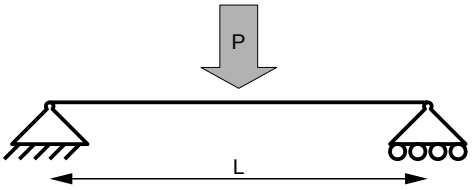
Aplicando teorema de Steiner

$$Ix = \sum Ix_i + A_i (y_c - y_i)^2 \qquad Wx = \frac{Ix}{\max(y_c; 120 - y_c)}$$

Sección	Ix_i [mm⁴]	A_i [mm²]	$(yc - yi)^2$ [mm²]	Aporte [mm⁴]
1	80099	910	3868	3599533
2	80099	910	28	105764
3	27333	820	996	844117
4	27333	820	996	844117

Ix [mm⁴]	***5393531***
Wx [mm³]	***68761***

Resistencia



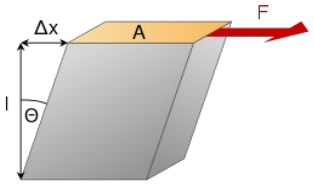
$$M = \frac{P.l}{4}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{P.l}{4.W}$$

P	100	kN
W	6,876E-05	m³
l	0,4	m
σ	***145,4***	MPa

B.2 Cálculo de deformación máxima

Deformación del hormigón



$$G=\frac{\tau}{\Theta}\approx\frac{F/A}{\Delta x/l}=\frac{F.l}{\Delta x.A}$$

$$\Delta x=\frac{F.l}{G.A}$$

Primero debemos determinar G. Lo hacemos en función de la identidad

$$G=\frac{E}{2.(1+\nu)}$$

E	35	GPa
ν	0,2	
G	1,458E+01	GPa

Entonces

F	100	kN
A	0,0375	m²
l	0,15	m
G	1,458E+01	GPa

Δx ***2,742857E-05*** m

Deformación del PRFV

Suponemos sometido a tracción simple con una longitud libre total de 0,5 m

P	100	kN
A	0,0005	m²
E	40	GPa
l	0,5	m

$$\Delta x=\frac{F.l}{E.A}$$

Δx ***0,0025*** m

Deformación del bastidor

Suponemos esfuerzo de compresión simple con una longitud libre total de 2,55 m, que resulta de la suma de las longitudes del bastidor interior y exterior.

P	50	kN
A	0,00155	m²
E	200	GPa
l	2,55	m

$$\Delta x=\frac{F.l}{E.A}$$

Δx ***0,0004112903*** m

Deformación del vástago del cilindro

Suponemos esfuerzo de compresión simple con una longitud libre total de 0,5 m

P	100	kN
A	0,0020268299	m²
E	200	GPa
l	0,5	m

$$\Delta x = \frac{F \cdot l}{E \cdot A}$$

Δx	***0,0001233453***	m

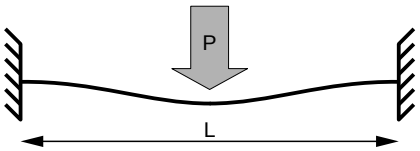
Deformación de la celda de carga

Valor provisto por el fabricante

Δx	***0,0006***	m

Deformación de la viga de anclaje del cilindro hidráulico

Consideramos una viga doblemente empotrada



$$Y_{max} = \frac{-P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$$

P	100	kN
E	200	GPa
I	5,39E-06	m⁴
L	0,4	m

Δx	***-3,09012E-06***	m

Deformación total estimada

$$X_{max} = \sum \Delta x$$

X_{max}	***0,0036651543***	m

Para tener una cobertura por posibles deformaciones adicionales no contempladas, adoptamos

$$X_{max} = 0{,}01\,\text{m}$$

B.3 Calculo de pérdidas de carga

Para el cálculo se utilizaron ecuaciones modificadas respecto a las del punto 5.2.4 para obtener las pérdidas de carga directamente en presión. Dado que

$$\Delta p = h \rho g$$

solamente se multiplicaron ambos lados de las ecuaciones por ρg.

Propiedades del fluído

ρ	880	kg/m³	Total AZOLLA ZS 46
ν	46	cSt (10^{-6} m²/s)	

Lado empuje

Qmax	8,234E-04	m³/s

Lado tiro

Qmax	6,917E-04	m³/s

Manguera

d	0,0127	m
L	6	m

Tubo

d	0,009	m
L	0,6	m

Valores K

Válvula	0,100
Curva 90°	0,200
Entrada-Salida cilindro	0,750
Transición manguera – caño	0,197

K manguera – caño (Merrit, pág 46)

Manguera – Caño	0,146
Caño – Manguera	0,248
Valor medio transición Caño - Manguera	0,197

K caño – cilindro (Merrit, pág 46)

Caño – Cilindro	1,000
Cilindro – Caño	0,500
Valor medio transición cilindro – caño	0,750

K curva 90° (Merrit, pág 48)

Valor para R/d = 4	0,200

K válvula (Yeaple, pág 246)

Aunque para válvula completamente abierta se considera 0, adoptamos un valor bajo	0,100

Calculo de la potencia por pérdidas de carga

Lado empuje

Fase	Q m³/s	Manguera	Tubo acero	Válvula esférica	Curva 90°	Entrada al cilindro	Reducción manguera	Total Pa	Potencia W
0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0
0,063	5,17E-05	1,97E+04	7,80E+03	5,81E+01	1,16E+02	4,36E+02	1,14E+02	2,82E+04	1,5
0,126	1,03E-04	3,93E+04	1,56E+04	2,32E+02	4,63E+02	1,74E+03	4,56E+02	5,77E+04	6,0
0,188	1,54E-04	5,87E+04	2,33E+04	5,18E+02	1,04E+03	3,88E+03	1,02E+03	8,84E+04	13,6
0,251	2,05E-04	7,79E+04	3,09E+04	9,12E+02	1,82E+03	6,84E+03	1,79E+03	1,20E+05	24,6
0,314	2,54E-04	9,68E+04	3,84E+04	1,41E+03	2,82E+03	1,06E+04	2,77E+03	1,53E+05	38,9
0,377	3,03E-04	1,15E+05	4,57E+04	2,00E+03	4,00E+03	1,50E+04	3,93E+03	1,86E+05	56,4
0,440	3,51E-04	1,33E+05	5,29E+04	2,67E+03	5,35E+03	2,00E+04	5,26E+03	2,20E+05	77,0
0,503	3,97E-04	1,51E+05	5,98E+04	3,42E+03	6,84E+03	2,57E+04	6,73E+03	2,53E+05	100,5
0,565	4,41E-04	1,68E+05	6,65E+04	4,23E+03	8,47E+03	3,17E+04	8,33E+03	2,87E+05	126,7
0,628	4,84E-04	1,84E+05	7,30E+04	5,09E+03	1,02E+04	3,82E+04	1,00E+04	3,21E+05	155,2
0,691	5,25E-04	2,00E+05	7,92E+04	5,99E+03	1,20E+04	4,49E+04	1,18E+04	3,53E+05	185,5
0,754	5,64E-04	2,14E+05	8,50E+04	6,91E+03	1,38E+04	5,18E+04	1,36E+04	3,86E+05	217,3
0,817	6,00E-04	2,28E+05	9,05E+04	7,83E+03	1,57E+04	5,88E+04	1,54E+04	4,17E+05	250,0
0,880	6,34E-04	2,41E+05	9,57E+04	8,75E+03	1,75E+04	6,56E+04	1,72E+04	4,46E+05	283,1
0,942	6,66E-04	2,53E+05	1,04E+05	9,65E+03	1,93E+04	7,24E+04	1,90E+04	4,77E+05	317,9
1,005	6,95E-04	2,64E+05	1,14E+05	1,05E+04	2,10E+04	7,88E+04	2,07E+04	5,09E+05	354,2
1,068	7,22E-04	2,74E+05	1,24E+05	1,13E+04	2,26E+04	8,49E+04	2,23E+04	5,40E+05	389,3
1,131	7,45E-04	2,83E+05	1,33E+05	1,21E+04	2,41E+04	9,05E+04	2,37E+04	5,67E+05	422,6
1,194	7,66E-04	2,91E+05	1,42E+05	1,27E+04	2,55E+04	9,56E+04	2,51E+04	5,92E+05	453,2
1,257	7,83E-04	2,98E+05	1,49E+05	1,33E+04	2,67E+04	1,00E+05	2,62E+04	6,13E+05	480,4
1,319	7,98E-04	3,03E+05	1,56E+05	1,38E+04	2,77E+04	1,04E+05	2,72E+04	6,31E+05	503,6
1,382	8,09E-04	3,08E+05	1,61E+05	1,42E+04	2,84E+04	1,07E+05	2,80E+04	6,46E+05	522,3
1,445	8,17E-04	3,11E+05	1,64E+05	1,45E+04	2,90E+04	1,09E+05	2,85E+04	6,56E+05	536,0
1,508	8,22E-04	3,13E+05	1,67E+05	1,47E+04	2,94E+04	1,10E+05	2,89E+04	6,62E+05	544,3
1,571	8,23E-04	3,13E+05	1,67E+05	1,47E+04	2,95E+04	1,11E+05	2,90E+04	6,64E+05	547,1
1,634	8,22E-04	3,13E+05	1,67E+05	1,47E+04	2,94E+04	1,10E+05	2,89E+04	6,62E+05	544,3
1,696	8,17E-04	3,11E+05	1,64E+05	1,45E+04	2,90E+04	1,09E+05	2,85E+04	6,56E+05	536,0
1,759	8,09E-04	3,08E+05	1,61E+05	1,42E+04	2,84E+04	1,07E+05	2,80E+04	6,46E+05	522,3
1,822	7,98E-04	3,03E+05	1,56E+05	1,38E+04	2,77E+04	1,04E+05	2,72E+04	6,31E+05	503,6
1,885	7,83E-04	2,98E+05	1,49E+05	1,33E+04	2,67E+04	1,00E+05	2,62E+04	6,13E+05	480,4
1,948	7,66E-04	2,91E+05	1,42E+05	1,27E+04	2,55E+04	9,56E+04	2,51E+04	5,92E+05	453,2
2,011	7,45E-04	2,83E+05	1,33E+05	1,21E+04	2,41E+04	9,05E+04	2,37E+04	5,67E+05	422,6
2,073	7,22E-04	2,74E+05	1,24E+05	1,13E+04	2,26E+04	8,49E+04	2,23E+04	5,40E+05	389,3
2,136	6,95E-04	2,64E+05	1,14E+05	1,05E+04	2,10E+04	7,88E+04	2,07E+04	5,09E+05	354,2
2,199	6,66E-04	2,53E+05	1,04E+05	9,65E+03	1,93E+04	7,24E+04	1,90E+04	4,77E+05	317,9
2,262	6,34E-04	2,41E+05	9,57E+04	8,75E+03	1,75E+04	6,56E+04	1,72E+04	4,46E+05	283,1
2,325	6,00E-04	2,28E+05	9,05E+04	7,83E+03	1,57E+04	5,88E+04	1,54E+04	4,17E+05	250,0
2,388	5,64E-04	2,14E+05	8,50E+04	6,91E+03	1,38E+04	5,18E+04	1,36E+04	3,86E+05	217,3
2,450	5,25E-04	2,00E+05	7,92E+04	5,99E+03	1,20E+04	4,49E+04	1,18E+04	3,53E+05	185,5
2,513	4,84E-04	1,84E+05	7,30E+04	5,09E+03	1,02E+04	3,82E+04	1,00E+04	3,21E+05	155,2
2,576	4,41E-04	1,68E+05	6,65E+04	4,23E+03	8,47E+03	3,17E+04	8,33E+03	2,87E+05	126,7
2,639	3,97E-04	1,51E+05	5,98E+04	3,42E+03	6,84E+03	2,57E+04	6,73E+03	2,53E+05	100,5
2,702	3,51E-04	1,33E+05	5,29E+04	2,67E+03	5,35E+03	2,00E+04	5,26E+03	2,20E+05	77,0
2,765	3,03E-04	1,15E+05	4,57E+04	2,00E+03	4,00E+03	1,50E+04	3,93E+03	1,86E+05	56,4
2,827	2,54E-04	9,68E+04	3,84E+04	1,41E+03	2,82E+03	1,06E+04	2,77E+03	1,53E+05	38,9
2,890	2,05E-04	7,79E+04	3,09E+04	9,12E+02	1,82E+03	6,84E+03	1,79E+03	1,20E+05	24,6
2,953	1,54E-04	5,87E+04	2,33E+04	5,18E+02	1,04E+03	3,88E+03	1,02E+03	8,84E+04	13,6
3,016	1,03E-04	3,93E+04	1,56E+04	2,32E+02	4,63E+02	1,74E+03	4,56E+02	5,77E+04	6,0
3,079	5,17E-05	1,97E+04	7,80E+03	5,81E+01	1,16E+02	4,36E+02	1,14E+02	2,82E+04	1,5
3,142	-2,65E-19	9,09E-25	5,08E-25	1,52E-27	3,05E-27	1,14E-26	3,00E-27	1,44E-24	0,0

Lado tiro

Fase	Q m³/s	Manguera	Tubo acero	Válvula esférica	Curva 90°	Entrada al cilindro	educción d manguera	Total Pa	Potencia W
0,000	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0
0,063	4,34E-05	1,65E+04	6,55E+03	4,10E+01	8,20E+01	3,08E+02	8,07E+01	2,36E+04	1,0
0,126	8,67E-05	3,30E+04	1,31E+04	1,63E+02	3,27E+02	1,23E+03	3,21E+02	4,81E+04	4,2
0,188	1,30E-04	4,93E+04	1,95E+04	3,65E+02	7,30E+02	2,74E+03	7,19E+02	7,34E+04	9,5
0,251	1,72E-04	6,54E+04	2,59E+04	6,43E+02	1,29E+03	4,82E+03	1,27E+03	9,94E+04	17,1
0,314	2,14E-04	8,13E+04	3,22E+04	9,93E+02	1,99E+03	7,45E+03	1,95E+03	1,26E+05	26,9
0,377	2,55E-04	9,69E+04	3,84E+04	1,41E+03	2,82E+03	1,06E+04	2,77E+03	1,53E+05	38,9
0,440	2,94E-04	1,12E+05	4,44E+04	1,89E+03	3,77E+03	1,41E+04	3,71E+03	1,80E+05	53,0
0,503	3,33E-04	1,27E+05	5,03E+04	2,41E+03	4,83E+03	1,81E+04	4,75E+03	2,07E+05	69,0
0,565	3,71E-04	1,41E+05	5,59E+04	2,99E+03	5,97E+03	2,24E+04	5,88E+03	2,34E+05	86,8
0,628	4,07E-04	1,55E+05	6,13E+04	3,59E+03	7,19E+03	2,70E+04	7,07E+03	2,61E+05	106,0
0,691	4,41E-04	1,68E+05	6,65E+04	4,23E+03	8,45E+03	3,17E+04	8,31E+03	2,87E+05	126,5
0,754	4,73E-04	1,80E+05	7,14E+04	4,87E+03	9,75E+03	3,66E+04	9,59E+03	3,12E+05	147,9
0,817	5,04E-04	1,92E+05	7,60E+04	5,53E+03	1,11E+04	4,15E+04	1,09E+04	3,37E+05	169,8
0,880	5,33E-04	2,03E+05	8,04E+04	6,18E+03	1,24E+04	4,63E+04	1,21E+04	3,60E+05	191,9
0,942	5,60E-04	2,13E+05	8,44E+04	6,81E+03	1,36E+04	5,11E+04	1,34E+04	3,82E+05	213,8
1,005	5,84E-04	2,22E+05	8,81E+04	7,42E+03	1,48E+04	5,56E+04	1,46E+04	4,03E+05	235,2
1,068	6,06E-04	2,31E+05	9,14E+04	7,99E+03	1,60E+04	5,99E+04	1,57E+04	4,22E+05	255,5
1,131	6,26E-04	2,38E+05	9,44E+04	8,52E+03	1,70E+04	6,39E+04	1,68E+04	4,39E+05	274,5
1,194	6,43E-04	2,45E+05	9,70E+04	8,99E+03	1,80E+04	6,74E+04	1,77E+04	4,54E+05	291,8
1,257	6,58E-04	2,50E+05	1,01E+05	9,41E+03	1,88E+04	7,06E+04	1,85E+04	4,68E+05	308,0
1,319	6,70E-04	2,55E+05	1,05E+05	9,76E+03	1,95E+04	7,32E+04	1,92E+04	4,81E+05	322,5
1,382	6,79E-04	2,58E+05	1,08E+05	1,00E+04	2,01E+04	7,53E+04	1,97E+04	4,92E+05	334,1
1,445	6,86E-04	2,61E+05	1,11E+05	1,02E+04	2,05E+04	7,68E+04	2,01E+04	4,99E+05	342,7
1,508	6,90E-04	2,63E+05	1,12E+05	1,04E+04	2,07E+04	7,77E+04	2,04E+04	5,04E+05	347,9
1,571	6,92E-04	2,63E+05	1,13E+05	1,04E+04	2,08E+04	7,80E+04	2,05E+04	5,05E+05	349,6
1,634	6,90E-04	2,63E+05	1,12E+05	1,04E+04	2,07E+04	7,77E+04	2,04E+04	5,04E+05	347,9
1,696	6,86E-04	2,61E+05	1,11E+05	1,02E+04	2,05E+04	7,68E+04	2,01E+04	4,99E+05	342,7
1,759	6,79E-04	2,58E+05	1,08E+05	1,00E+04	2,01E+04	7,53E+04	1,97E+04	4,92E+05	334,1
1,822	6,70E-04	2,55E+05	1,05E+05	9,76E+03	1,95E+04	7,32E+04	1,92E+04	4,81E+05	322,5
1,885	6,58E-04	2,50E+05	1,01E+05	9,41E+03	1,88E+04	7,06E+04	1,85E+04	4,68E+05	308,0
1,948	6,43E-04	2,45E+05	9,70E+04	8,99E+03	1,80E+04	6,74E+04	1,77E+04	4,54E+05	291,8
2,011	6,26E-04	2,38E+05	9,44E+04	8,52E+03	1,70E+04	6,39E+04	1,68E+04	4,39E+05	274,5
2,073	6,06E-04	2,31E+05	9,14E+04	7,99E+03	1,60E+04	5,99E+04	1,57E+04	4,22E+05	255,5
2,136	5,84E-04	2,22E+05	8,81E+04	7,42E+03	1,48E+04	5,56E+04	1,46E+04	4,03E+05	235,2
2,199	5,60E-04	2,13E+05	8,44E+04	6,81E+03	1,36E+04	5,11E+04	1,34E+04	3,82E+05	213,8
2,262	5,33E-04	2,03E+05	8,04E+04	6,18E+03	1,24E+04	4,63E+04	1,21E+04	3,60E+05	191,9
2,325	5,04E-04	1,92E+05	7,60E+04	5,53E+03	1,11E+04	4,15E+04	1,09E+04	3,37E+05	169,8
2,388	4,73E-04	1,80E+05	7,14E+04	4,87E+03	9,75E+03	3,66E+04	9,59E+03	3,12E+05	147,9
2,450	4,41E-04	1,68E+05	6,65E+04	4,23E+03	8,45E+03	3,17E+04	8,31E+03	2,87E+05	126,5
2,513	4,07E-04	1,55E+05	6,13E+04	3,59E+03	7,19E+03	2,70E+04	7,07E+03	2,61E+05	106,0
2,576	3,71E-04	1,41E+05	5,59E+04	2,99E+03	5,97E+03	2,24E+04	5,88E+03	2,34E+05	86,8
2,639	3,33E-04	1,27E+05	5,03E+04	2,41E+03	4,83E+03	1,81E+04	4,75E+03	2,07E+05	69,0
2,702	2,94E-04	1,12E+05	4,44E+04	1,89E+03	3,77E+03	1,41E+04	3,71E+03	1,80E+05	53,0
2,765	2,55E-04	9,69E+04	3,84E+04	1,41E+03	2,82E+03	1,06E+04	2,77E+03	1,53E+05	38,9
2,827	2,14E-04	8,13E+04	3,22E+04	9,93E+02	1,99E+03	7,45E+03	1,95E+03	1,26E+05	26,9
2,890	1,72E-04	6,54E+04	2,59E+04	6,43E+02	1,29E+03	4,82E+03	1,27E+03	9,94E+04	17,1
2,953	1,30E-04	4,93E+04	1,95E+04	3,65E+02	7,30E+02	2,74E+03	7,19E+02	7,34E+04	9,5
3,016	8,67E-05	3,30E+04	1,31E+04	1,63E+02	3,27E+02	1,23E+03	3,21E+02	4,81E+04	4,2
3,079	4,34E-05	1,65E+04	6,55E+03	4,10E+01	8,20E+01	3,08E+02	8,07E+01	2,36E+04	1,0
3,142	2,22E-19	6,41E-25	3,59E-25	1,08E-27	2,15E-27	8,07E-27	2,12E-27	1,01E-24	0,0

Potencia total

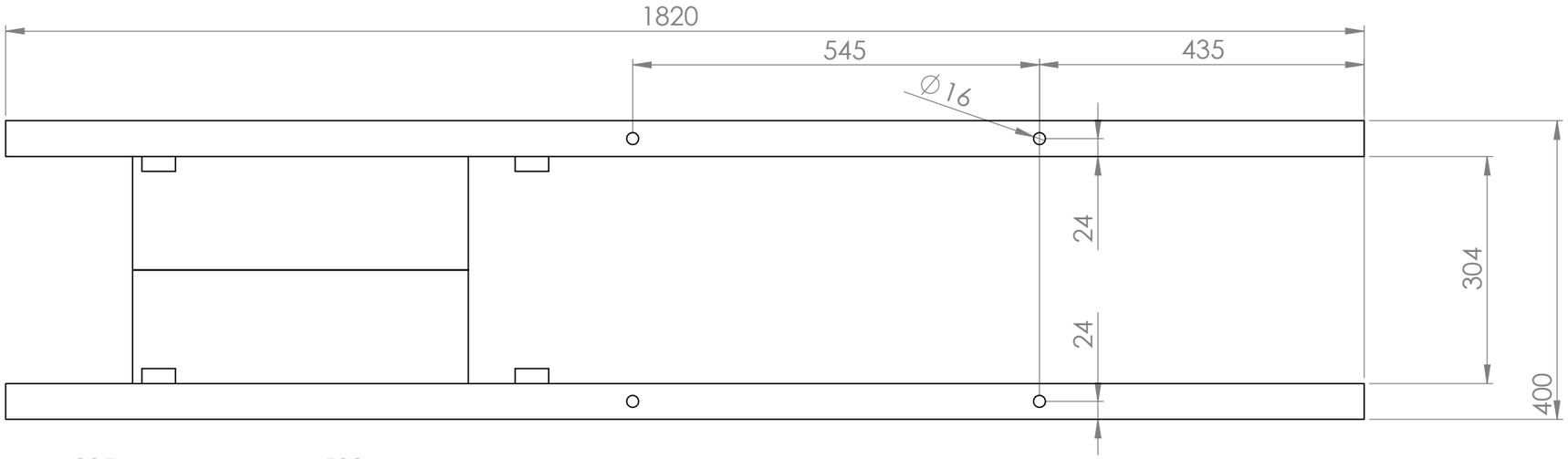
Fase	Potencia disipada		Potencia teórica	Potencia total
	Empuje	Tiro		
0,000	0,0	0,0	0,0	0,0
0,063	1,5	1,0	0,0	2,5
0,126	6,0	4,2	0,0	10,1
0,188	13,6	9,5	0,0	23,2
0,251	24,6	17,1	0,0	41,7
0,314	38,9	26,9	0,0	65,8
0,377	56,4	38,9	0,0	95,3
0,440	77,0	53,0	0,0	130,0
0,503	100,5	69,0	0,0	169,5
0,565	126,7	86,8	0,0	213,5
0,628	155,2	106,0	0,0	261,2
0,691	185,5	126,5	0,0	312,0
0,754	217,3	147,9	0,0	365,2
0,817	250,0	169,8	0,0	419,8
0,880	283,1	191,9	0,0	475,0
0,942	317,9	213,8	0,0	531,7
1,005	354,2	235,2	0,0	589,4
1,068	389,3	255,5	0,0	644,9
1,131	422,6	274,5	0,0	697,1
1,194	453,2	291,8	0,0	744,9
1,257	480,4	308,0	0,0	788,3
1,319	503,6	322,5	0,0	826,1
1,382	522,3	334,1	0,0	856,4
1,445	536,0	342,7	0,0	878,6
1,508	544,3	347,9	0,0	892,2
1,571	547,1	349,6	0,0	896,7
1,634	544,3	347,9	407,3	1299,5
1,696	536,0	342,7	808,2	1686,9
1,759	522,3	334,1	1196,4	2052,8
1,822	503,6	322,5	1565,7	2391,8
1,885	480,4	308,0	1910,3	2698,7
1,948	453,2	291,8	2224,8	2969,7
2,011	422,6	274,5	2504,2	3201,3
2,073	389,3	255,5	2744,1	3388,9
2,136	354,2	235,2	2940,7	3530,0
2,199	317,9	213,8	3090,9	3622,7
2,262	283,1	191,9	3192,4	3667,4
2,325	250,0	169,8	3243,6	3663,4
2,388	217,3	147,9	3243,6	3608,8
2,450	185,5	126,5	3192,4	3504,5
2,513	155,2	106,0	3090,9	3352,1
2,576	126,7	86,8	2940,7	3154,1
2,639	100,5	69,0	2744,1	2913,6
2,702	77,0	53,0	2504,2	2634,1
2,765	56,4	38,9	2224,8	2320,0
2,827	38,9	26,9	1910,3	1976,1
2,890	24,6	17,1	1565,7	1607,4
2,953	13,6	9,5	1196,4	1219,6
3,016	6,0	4,2	808,2	818,4
3,079	1,5	1,0	407,3	409,8
3,142	0,0	0,0	0,0	0,0

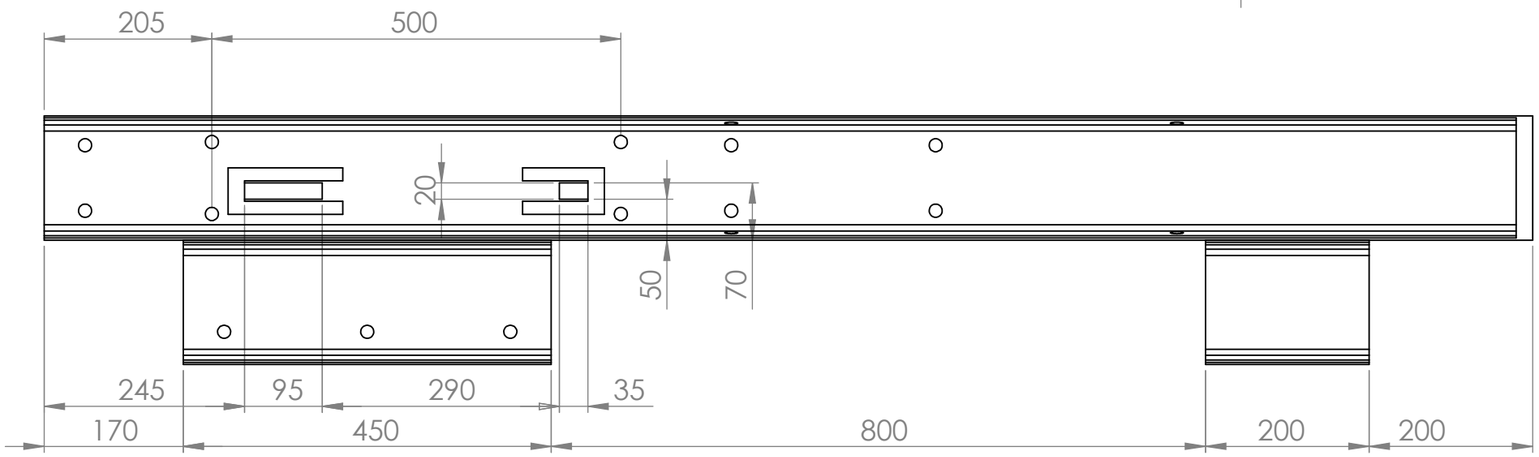
Luego la potencia real de pico, sin tener en cuenta los rendimientos, es de

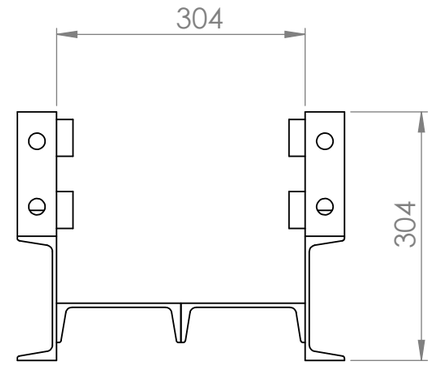
$$N_{max} = 3667 \text{ W}$$

Anexo C: Planos

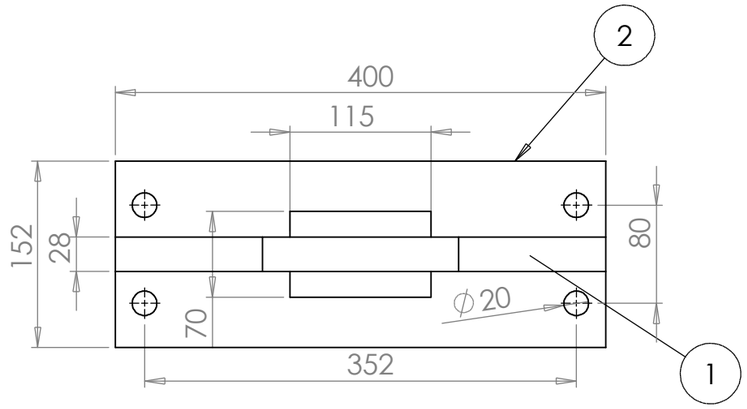
En las siguientes páginas se adjuntan los planos de fabricación.



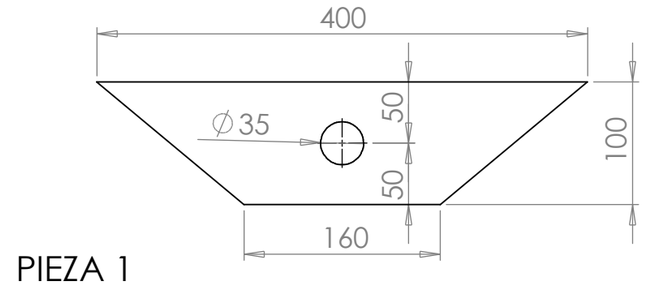




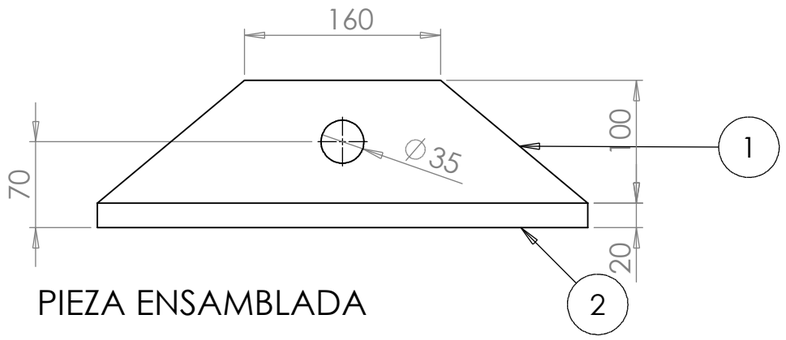
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				**Plano 1 BASTIDOR EXTERIOR**
	FECHA	NOMBRE	ESCALA	
DIBUJO		E. Gavilán	1:10	
APROBO				

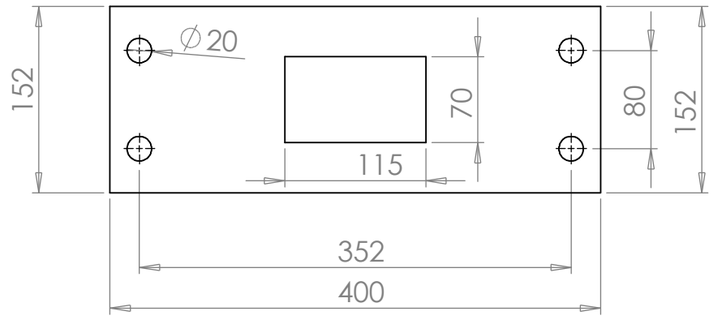


PIEZA ENSAMBLADA



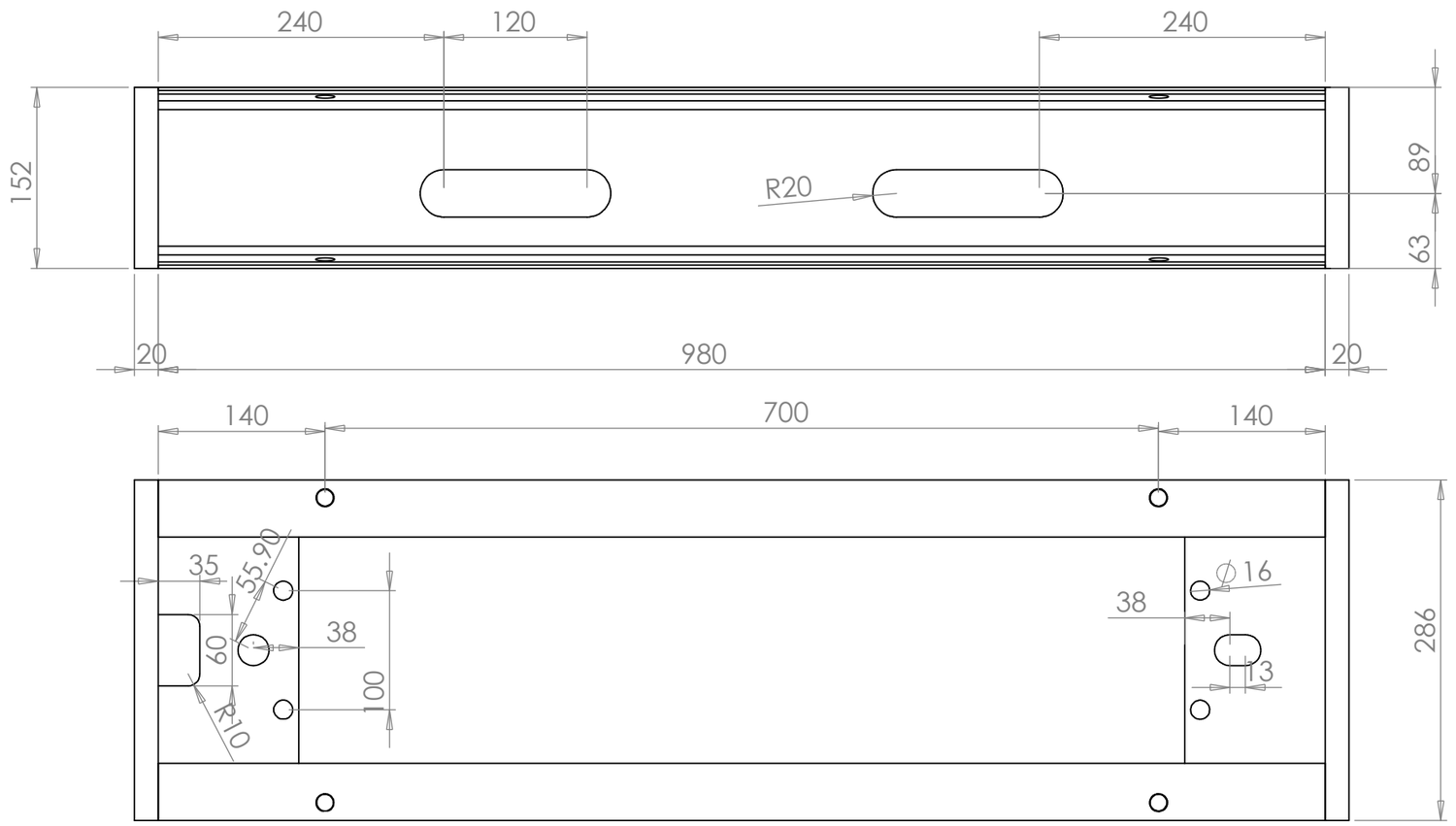
PIEZA 1



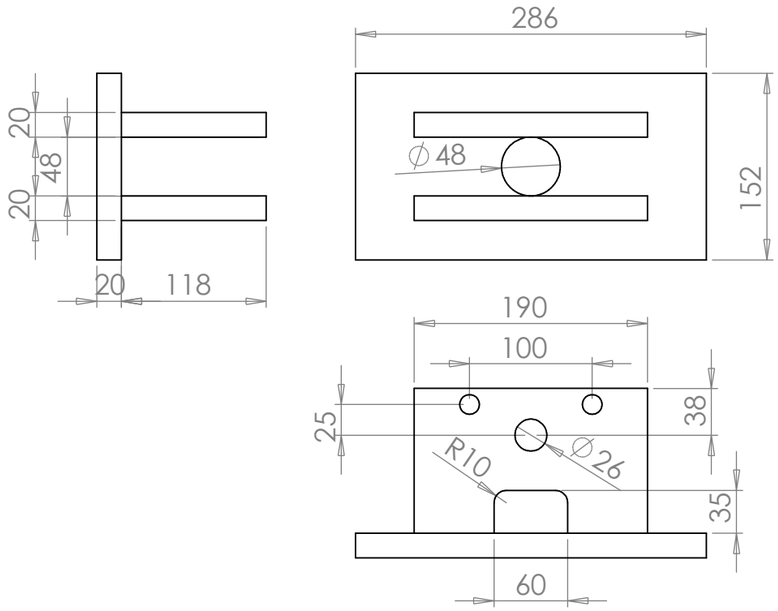


PIEZA 2

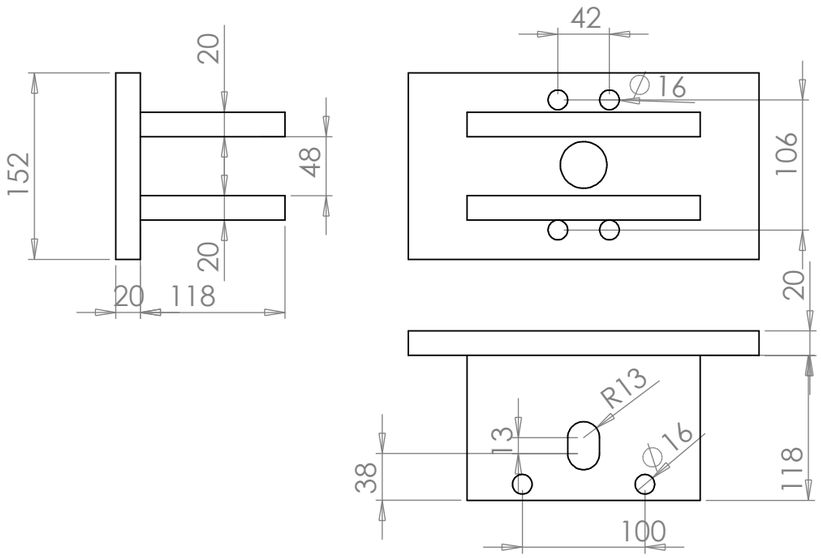
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Plano 2 BASTIDOR EXTERIOR. Toma de cilindro
	FECHA	NOMBRE	ESCALA	
DIBUJO		E. Gavilán	1:10	
APROBO				



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			**Plano 3 BASTIDOR INTERIOR**
	FECHA	NOMBRE	ESCALA
DIBUJO		E. Gavilán	1:10
APROBO			

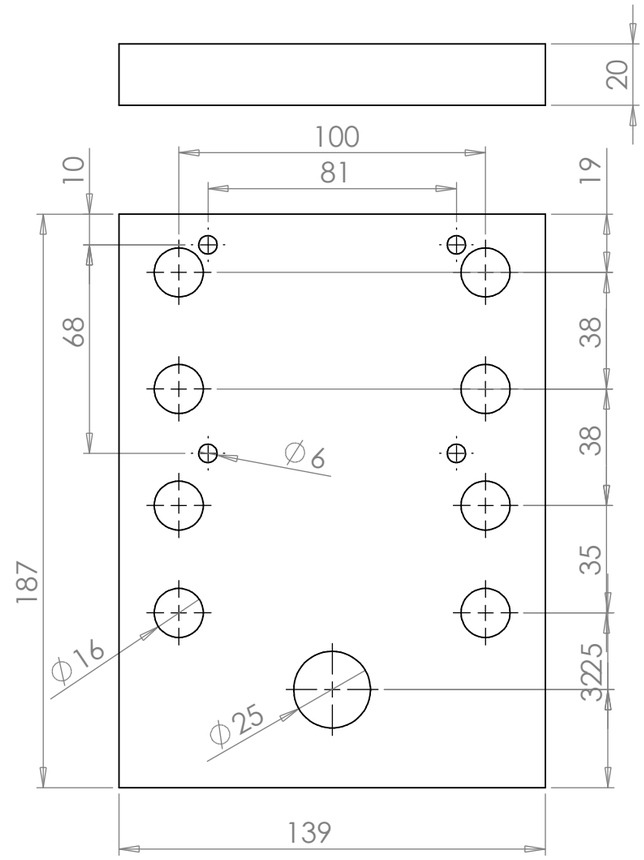


EXTREMO LADO CELDA

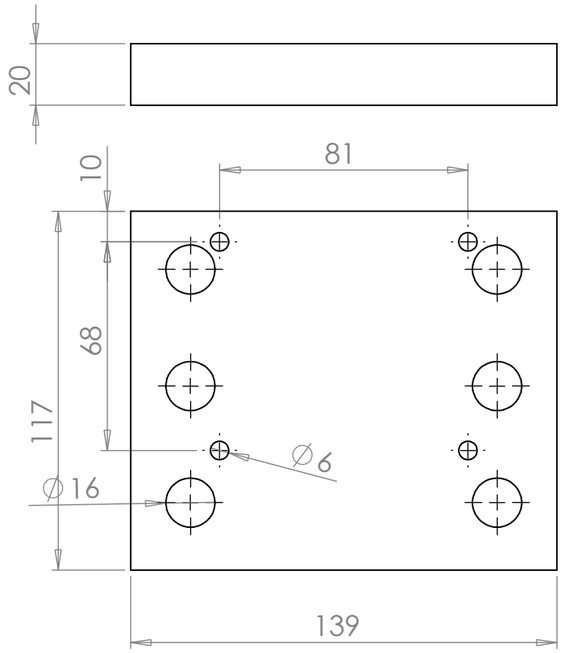


EXTREMO LADO PRETENSADO

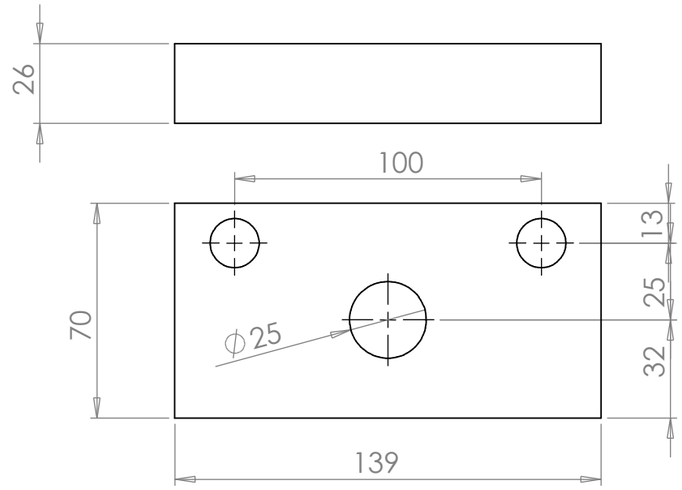
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				**Plano 4 BASTIDOR INTERIOR. Extremo lado celda y lado pretensado** Página 73
	FECHA	NOMBRE	ESCALA	
DIBUJO		E. Gavilán	1:10	
APROBO				



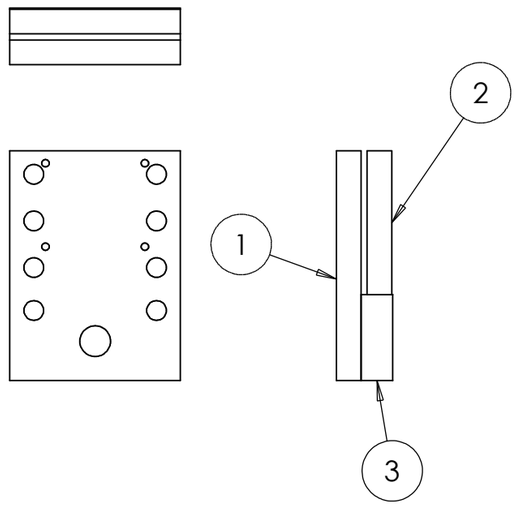
PIEZA 1



PIEZA 2

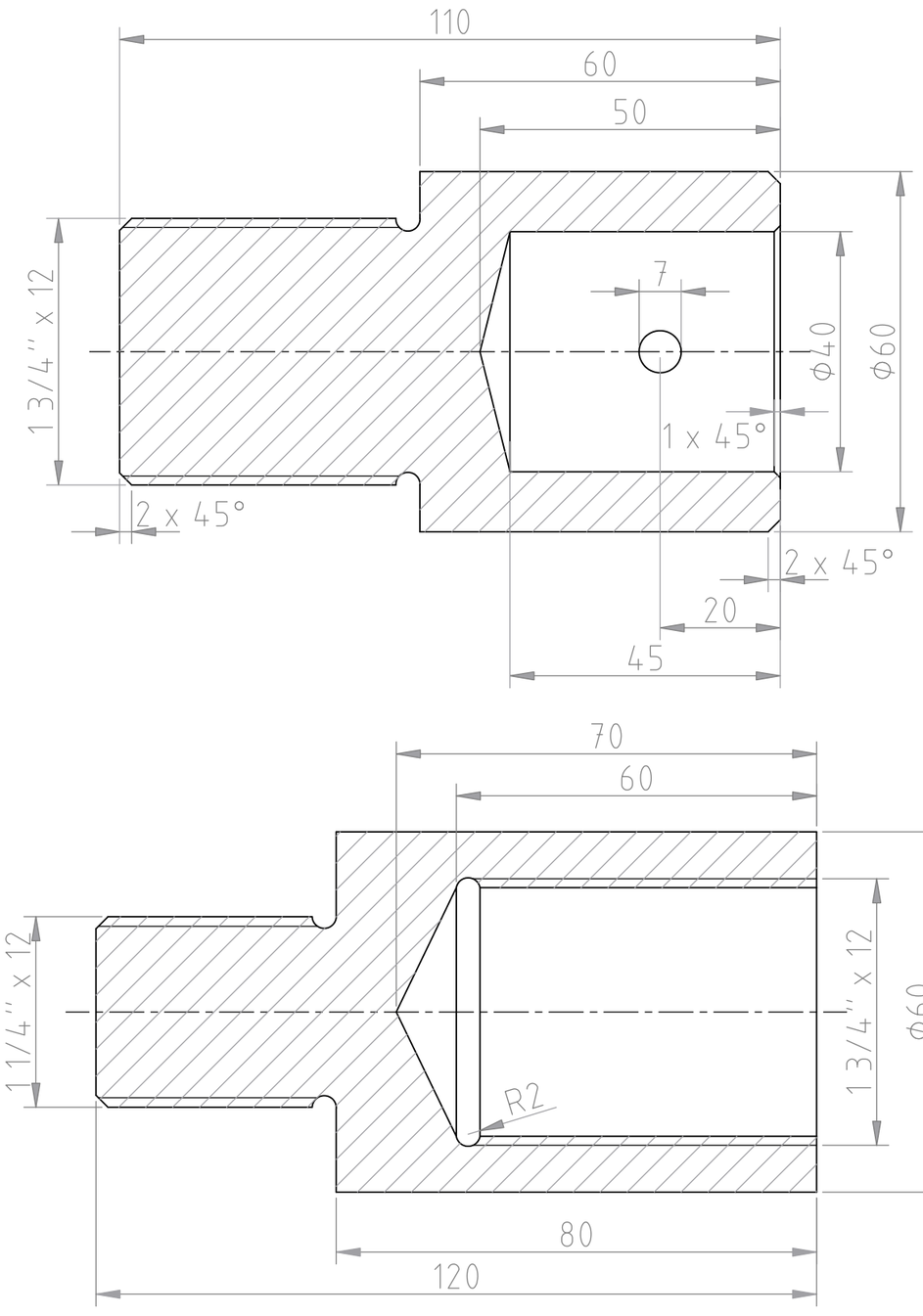


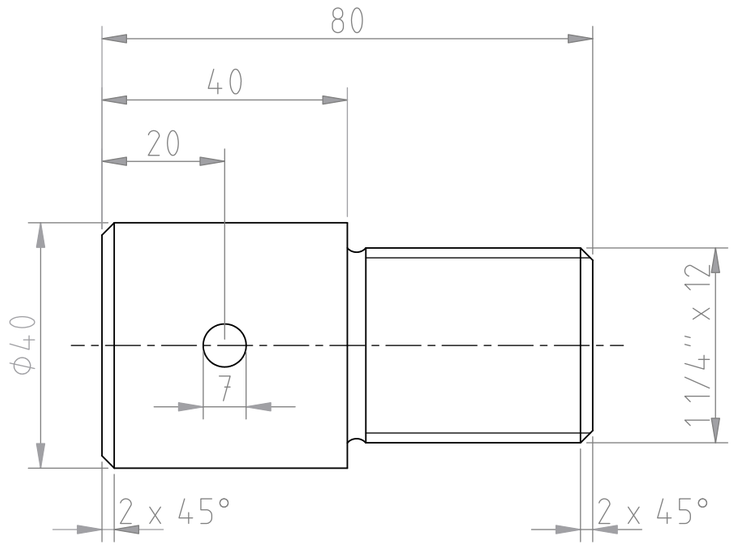
PIEZA 3



MORDAZA ENSAMBLADA
Cantidad: 2

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Plano 5 MORDAZA
	FECHA	NOMBRE	ESCALA	
DIBUJO		E. Gavilán	1:10	
APROBO				

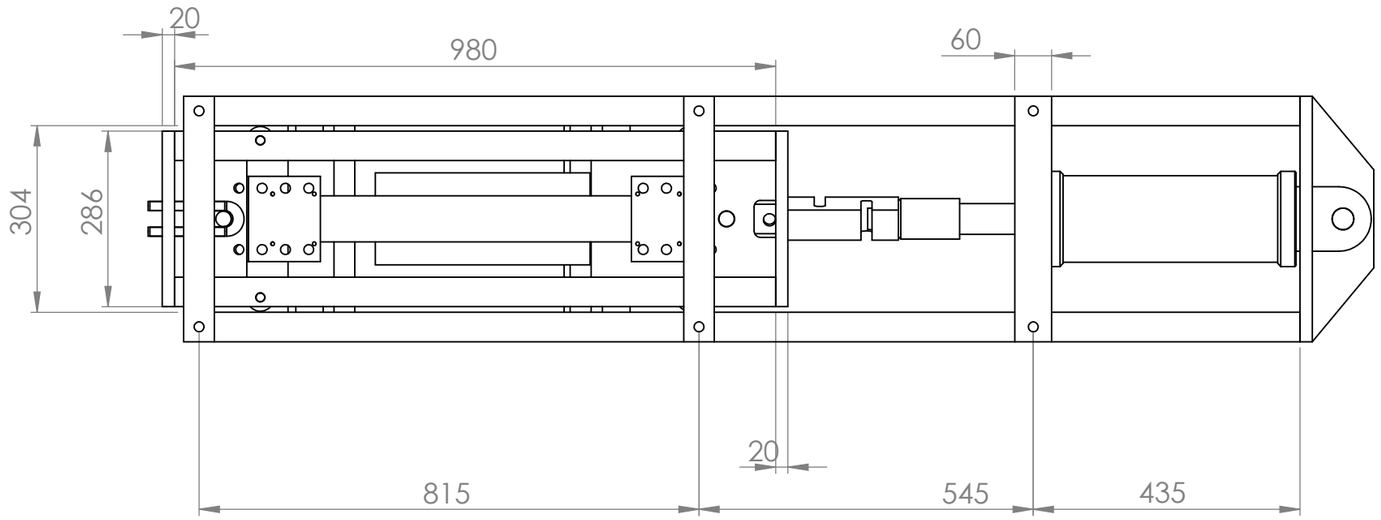


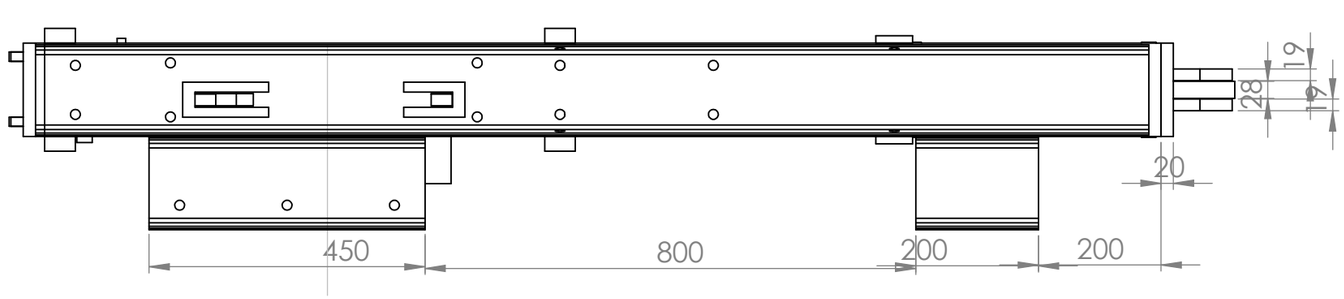


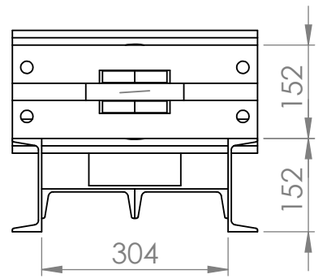
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Plano 6 DISPOSITIVOS DE AMARRE DE CELDA DE CARGA

	FECHA	NOMBRE	ESCALA
DIBUJO		E. Gavilán	1:1
APROBO			







ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA				Plano 7 MAQUINA DE CICLADO. Vista de conjunto
	FECHA	NOMBRE	ESCALA	
DIBUJO		E. Gavilán	1:10	
APROBO				