



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS  
FÍSICAS Y NATURALES**

**ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA AERONÁUTICA**

*Trabajo Final*

*Título:*

***“PRESTACIONES TERMO-ELECTRO-  
FLUIDODINAMICAS DE UNA TORRE DE  
ENFRIAMIENTO DE AGUA DE TIRO  
FORZADO”***

***Autores ..... JUAN JOSE ALAMOS ATENCIO  
RODRIGO MIGUEL FERNANDEZ***

*Córdoba , Junio de 2014*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FÍSICAS Y NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AERONÁUTICA

***“PRESTACIONES TERMO-ELECTRO-FLUIDODINAMICAS DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO  
DE AGUA DE TIRO FORZADO”***

***Autores: JUAN JOSE ALAMOS ATENCIO***

***RODRIGO MIGUEL FERNANDEZ***

***Asesores: Ing. JOSÉ A. SIRENA***

***Ing. ÁNGEL A. GALEASSO***

***Córdoba, Junio de 2014***





*A nuestras familias.*



## **Agradecimientos**

*A los profesores de la facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la U. N. C., por formarnos académicamente.*

*A nuestras familias, por el apoyo incondicional que siempre nos brindaron para poder llegar a esta etapa.*



## **Resumen**

Se presentan los fundamentos teóricos del proceso de enfriamiento del agua, y los parámetros que evalúan las prestaciones termodinámicas y la eficiencia electro-fluidodinámica de las torres de enfriamiento.

Se determinaron experimentalmente los parámetros de funcionamiento térmico, eléctrico y fluidodinámicos de una torre de enfriamiento de agua de tiro forzado comercial, obteniéndose las curvas de funcionamiento y el parámetro de calidad electro-fluido dinámico en función de la relación de caudales máxicos agua/aire, para diversas configuraciones de rellenos.

Los resultados se compararon con los obtenidos en una torre de enfriamiento experimental de tiro inducido de dimensiones similares ensayada en trabajos anteriores.



## Índice

Agradecimientos .....	vii
Resumen .....	ix
Índice.....	xi
Lista de símbolos y nomenclatura .....	xv
Introducción .....	xvii
1. Descripción y fundamentos teóricos de torres de enfriamiento .....	1
1.1 Generalidades sobre torres de enfriamiento de agua.....	1
1.2 Clasificación de las torres de enfriamiento .....	2
1.2.1 Torres de circulación natural.....	2
1.2.2. Torres de enfriamiento de agua de circulación natural asistido .....	2
1.2.3 Torres de enfriamiento de tipo mecánico .....	2
1.3 Torres de tiro inducido versus torres de tiro forzado .....	4
1.4 Estudio general de una torre de enfriamiento de tiro forzado .....	5
1.4.1 Sistemas de distribución de agua.....	5
1.4.2 Separadores de gota.....	6
1.4.3 Relleno .....	6
1.4.4 Sistema motopropulsor.....	7
1.4.5 Cuba de depósito y sistema de salida de agua.....	8
1.5. Principio de funcionamiento .....	8
1.5.1 Marco teórico .....	8
1.5.2 Curva de funcionamiento .....	11
1.5.3 Punto de diseño .....	12
1.5.4 Prestaciones de las torres de enfriamiento de agua .....	12
1.5.5 Eficiencia electromecánica de las torres de enfriamiento .....	13
2. Ensayos en torres de enfriamiento .....	15
2.1 Introducción .....	15
2.2 Requisitos para la realización de ensayos .....	15
2.2.1 Condiciones del equipo .....	15
2.2.2 Condiciones de operación .....	15
2.2.3 Tolerancia en las condiciones de operación.....	16

2.2.4 Instrumental del ensayo .....	16
2.2.5. Parámetros a medirse.....	16
2.2.6 Duración del ensayo .....	17
2.2.7 Localización de los puntos de medición de los parámetros.....	17
2.2.8 Mediciones .....	18
2.2.9 Evaluación de los resultados.....	19
2.3 Instalación experimental.....	19
2.4 Calibración del Instrumental .....	25
2.5 Lugar de Ensayo .....	27
2.6 Consideraciones previas al ensayo .....	27
2.7 Protocolo.....	27
2.8 Análisis de los resultados posterior al estudio de las performances térmicas y eléctricas .....	28
3. Determinación del caudal de aire .....	31
3.1 Introducción.....	31
3.2 Fundamentos teóricos.....	31
3.3 Descripción de la instalación e instrumental usados .....	32
3.3.1 Instrumentos .....	32
3.3.2 Instalación.....	32
3.4 Ensayos.....	33
3.5 Metodología.....	34
3.6 Observaciones.....	35
3.7 Resultados Obtenidos .....	35
3.7.1 Resultados sin agua .....	35
3.7.2 Resultados con 5000 [l/h] de caudal de agua.....	37
3.7.3 Resultados con 7000 [l/h] de caudal de agua.....	38
3.7.4 Resultados con 9000 [l/h] de caudal de agua.....	40
3.7.5 Resultados con 11000 [l/h] de caudal de agua.....	41
3.7.6 Caudal de aire en función del caudal de agua.....	43
4. Programa para el procesamiento de datos de ensayo.....	45
4.1 Planteo del problema .....	45
4.2 Estructura del programa.....	45
4.2.1 Subrutina “ <i>leerADQUI</i> ” .....	48
4.2.2 Subrutina “ <i>leerdatos</i> ” .....	50
4.2.3 Subrutina “ <i>cor_pre</i> ” .....	51



4.2.4 Subrutinas “ <i>vel1</i> ” y “ <i>vel2</i> ” .....	53
4.2.5 Subrutina “ <i>ensayo</i> ” .....	56
4.2.6 Subrutina “ <i>eta_d</i> ” .....	59
4.2.7 Subrutinas “ <i>res1</i> ” y “ <i>res2</i> ” .....	64
4.2.8 Subrutinas “ <i>res_cor_pre</i> ”, “ <i>res_vel</i> ”, “ <i>res_en</i> ”, y “ <i>res_res</i> ” .....	64
5. Ensayos y estudio de las prestaciones termoeléctricas de la torre DZ M1 .....	67
5.1 Introducción .....	67
5.2 Descripción del producto de ensayo.....	67
5.3 Metodología .....	68
5.4 Configuraciones de ensayo.....	69
5.5 Resultados y gráficos .....	69
5.5.1 Tablas de resultados .....	69
5.5.2 Curvas de funcionamiento.....	71
5.6 Estudio del comportamiento del flujo de agua a la salida de la tobera .....	73
6. Estudio comparativo de torres de tiro inducido y tiro forzado.....	75
6.1 Introducción .....	75
6.2 Torre de enfriamiento de tiro inducido, prestaciones.....	75
6.3 Torre de tiro inducido vs torre de tiro forzado .....	77
Conclusión.....	85
Bibliografía .....	87
ANEXO A: Manual de usuario de los programas “ <i>torre</i> ” y “ <i>temp</i> ” .....	89
ANEXO B: Planillas resumen.....	113
ANEXO C: Planos .....	137
ANEXO D: Códigos de los programas informáticos “ <i>torre</i> ” y “ <i>temp</i> ” .....	CD
ANEXO E: Archivos de datos y planillas de cálculo.....	CD



## Lista de símbolos y nomenclatura

### Nomenclatura

- A*..... Constante adimensional en la ecuación de funcionamiento de la torre. [---].
- Acerc*..... Acercamiento.
- a*..... Superficie de transferencia equivalente por unidad de volumen de torre. [1/m].
- B*..... Constante adimensional en la ecuación de funcionamiento de la torre. [---].
- C*..... Constante adimensional, antilogaritmo de la constante *A*. [---].
- C<sub>L</sub>*..... Calor específico del agua. [kJ/(kg·K)].
- C<sub>p</sub>*..... Calor específico del aire, a presión constante.[kJ/(kg·K)].
- CT*..... Carga de agua,  $W_L/S_0$ . [m/h].
- Ec*..... Energía cinética del flujo de aire. [W].
- G*..... Caudal másico de aire. [kg/s].
- H*..... Altura del relleno de la torre. [cm].
- h<sub>gs</sub>*..... Entalpía de vapor de agua saturado. [kJ/kg].
- h<sub>ms</sub>*..... Entalpía de aire saturado. [kJ/kg].
- i*..... Entalpía específica. [kJ/kg].
- K*..... Coeficiente de transferencia másica medio. [kg de vapor condensado/(s·m<sup>2</sup>) ].
- K<sub>g</sub>*..... Coeficiente de transferencia másica a través de la película gaseosa.  
[kg de vapor condensado/(h·m<sup>2</sup>)].
- L*..... Caudal másico de agua. [kg/s].
- N<sub>act</sub>*..... Potencia eléctrica activa. [W].
- n*..... Coeficiente adimensional en la ecuación de funcionamiento de la torre. [---].
- P*..... Presión. [Pa].
- p<sub>gs</sub>*..... Presión de vapor de agua saturado. [Pa].
- QP*..... Parámetro de calidad electro-fluidodinámico. [---].
- q*..... Presión dinámica. [Pa].
- S<sub>0</sub>*..... Superficie total de la sección transversal de la torre. [m<sup>2</sup>].
- T*..... Temperatura. [°C, K].
- V*..... Velocidad. [m/s].
- V<sub>m</sub>*..... Velocidad media del aire,  $W_g/S_0$ . [m/s].
- W*..... Caudal volumétrico. [m<sup>3</sup>/s].

$W$ ..... Potencia [kW].

### Símbolos griegos

$\Delta H$ ..... Diferencia entre las alturas de las dos columnas de agua del manómetro, obtenida con el catetómetro, para la calibración de los sensores de presión. [Pa].

$\Delta P$ ..... Presión total referida a la presión atmosférica. [mA], [Pa].

$\Delta P_A$ ..... Diferencia de presión estática entre el anillos inferior y superior de la torre experimental de tiro inducido. [mA], [Pa].

$\Delta P_T$ ..... Diferencia de presión estática de la torre experimental de tiro inducido (entre la presión atmosférica y la presión estática del anillo inferior). [mA], [Pa].

$\Delta T$ ..... Salto térmico. [°C, K].

$\eta_d$ ..... Número de unidades de difusión. [---].

$\rho$ ..... Densidad del aire. [kg/m<sup>3</sup>].

$\tau$ ..... Coeficiente de pérdida de carga. [---].

$\omega$ ..... Humedad relativa. [---].

### Subíndices

*atm*..... Atmosférica.

*cw*..... Agua fría.

*db*..... Bulbo seco.

*g*..... Gas, aire húmedo.

*hw*..... Agua caliente.

*L*..... Líquido, agua.

*psi*..... Psicrometrico.

*wb*..... Bulbo húmedo.

**Nota:** otra simbología se aclara en el texto.

## Introducción

En el Departamento de Aeronáutica de la F.C.E.F. y N., desde hace varios años, se lleva a cabo un proyecto de I&D, denominado: "Eficiencias Electro y Termo-Fluido Dinámicas con aplicación a rellenos de torres de enfriamiento".

Este proyecto procura desarrollar la metodología necesaria para evaluar y comparar torres de enfriamiento de agua de tiro mecánico mediante un detallado análisis del problema físico y el mejoramiento de las herramientas de cálculo, sistematizando o automatizando la evaluación de los datos recolectados, para la evaluación de sus performances térmicas y electro-fluidodinámicas.

Por tal motivo se determinaran los parámetros de funcionamientos térmicos, eléctricos y fluidodinámicos de una pequeña torre de enfriamiento comercial DZ™ modelo M1, del tipo de tiro forzado, en el Laboratorio del Departamento de Aeronáutica, para diferentes configuraciones geométricas de relleno de torres. El número de unidades de difusión ( $\eta_d$ ) es fundamental para evaluar las performances termodinámicas de las torres, y la vía experimental es el único camino que permite su obtención, en razón de la complejidad del proceso de transferencia de masa y calor que ocurre en las torres. Así también para evaluar las performances eléctricas se debe determinar el parámetro de calidad electro-fluidodinámico,  $QP$ .

El dominio de la metodología de evaluación del proceso de termo transferencia permitirá analizar rellenos de torres de enfriamiento existentes en el mercado y nuevas configuraciones. En este trabajo se analizarán rellenos comerciales de salpicado en dos posiciones distintas con 1 y 2 capas, y de película con 1 y 2 capas. Para luego contrarrestarlos y compararlos con obtenidos en una torre de enfriamiento de agua de tiro mecánico inducido de carácter experimental situada también en el Laboratorio de Aeronáutica, evaluada anteriormente en otros trabajos.

La evaluación, utilización y forma de la realización de los ensayos se hacen utilizando métodos y normas del Cooling Tower Institute (CTI), por ejemplo CTI-ATC 105.

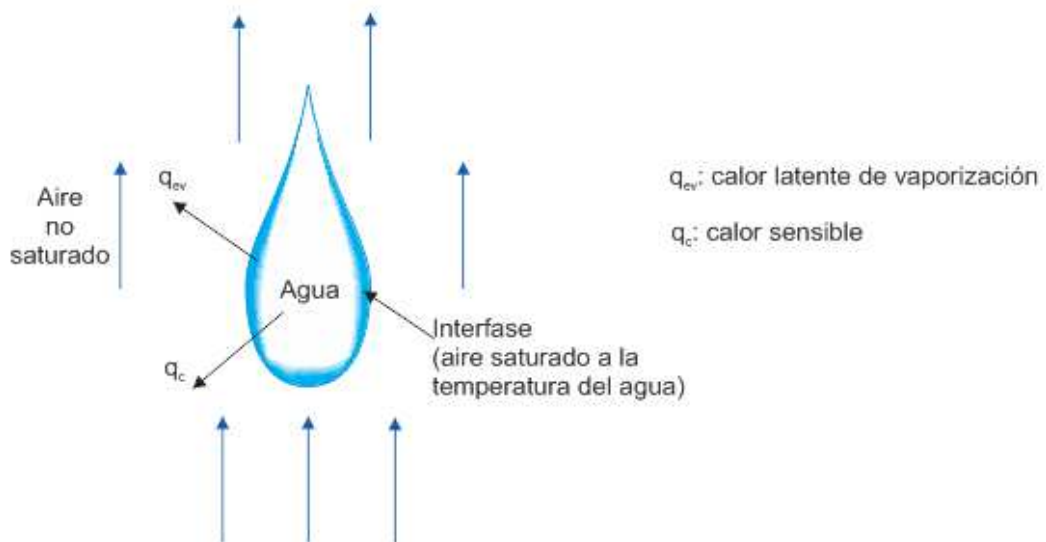


## CAPITULO 1

### 1. Descripción y fundamentos teóricos de torres de enfriamiento

#### 1.1 Generalidades sobre torres de enfriamiento de agua

Las torres de enfriamiento regulan el proceso de enfriamiento del agua mediante la evaporación controlada, reduciendo así la cantidad de agua consumida. Esto se logra cuando a la gota que se pone en contacto con el aire, se le evapora la película exterior, requiriendo para este proceso absorber calor, el cual se toma de la propia gota, enfriándola consecuentemente, *Fig.1.1*. Es decir, el enfriamiento se realiza principalmente por calor latente (cambio de estado físico), y en menor medida por calor sensible (cambio de temperatura).



*Fig.1.1 – Esquema del proceso de transferencia de una gota*

El objeto que se persigue en la torre es que la gota este el mayor tiempo posible en contacto con el aire, lo cual se logra con la altura de la misma y además interponiendo obstáculos (el relleno), que la van deteniendo y al mismo tiempo la van fragmentando facilitando más el proceso evaporativo. En términos generales, podemos decir que la capacidad de enfriamiento de una torre es una combinación de todas las variables involucradas en el diseño y selección de la misma, e indica la cantidad de agua que enfría en condiciones de operación comparada con las condiciones de diseño o requeridas, resultando esto en el equivalente de la eficiencia térmica, Ref. [1] y Ref. [2].

## **1.2 Clasificación de las torres de enfriamiento**

La forma más simple y usual de clasificar las torres de enfriamiento es según la forma en que se mueve el aire a través de estas, Ref. [1] y Ref. [2]. Según este criterio, existen:

- Torres de circulación natural.
- Torres de circulación natural asistido.
- Torres de tiro mecánico.

### **1.2.1 Torres de circulación natural**

Las torres de tiro natural se valen de medios naturales para producir el movimiento de aire; dentro de esta clasificación tenemos:

- Torres Atmosféricas:  
Utilizan las corrientes de aire de la atmosfera. El aire se mueve de forma horizontal y el agua cae verticalmente (flujo cruzado).
- Torres Hiperbólicas:  
En estas el flujo de aire es inducido por una gran chimenea situada sobre el relleno. La diferencia de densidades entre el aire húmedo caliente y el aire atmosférico es el principal motivo por el cual se crea el tiro de aire a través de la torre.

### **1.2.2. Torres de enfriamiento de agua de circulación natural asistido**

Con el fin de incrementar la eficiencia de las torres de tiro natural se aumenta el flujo de aire utilizando ventiladores que se ubican en la zona inferior de las torres hiperbólicas.

### **1.2.3 Torres de enfriamiento de tipo mecánico**

En estas torres, que utilizan ventiladores para generar el movimiento del aire, se puede controlar de forma precisa la temperatura del agua de salida, y se pueden lograr valores de acercamiento muy pequeños. Según la posición del ventilador estas se pueden clasificar en:

- 1) Tiro forzado, si el ventilador se encuentra situado en la entrada de aire.
- 2) Tiro inducido, si el ventilador se encuentra en la zona de descarga del aire.

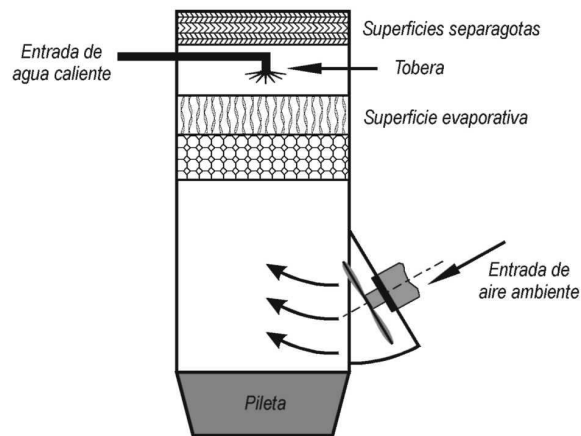


### 1) Torre de enfriamiento mecánica de tiro forzado

En este tipo de torre el aire se descarga a baja velocidad por la parte superior de la torre.

Estas torres son, casi siempre, de flujo a contracorriente. El aire que se mueve es aire frío de mayor densidad que en el caso de tiro inducido. Esto también significa que el equipo mecánico tendrá una duración mayor que en el caso de tiro inducido, ya que el ventilador trabaja con aire frío y no saturado, menos corrosivo que el aire caliente y saturado de la salida. Como inconveniente debe mencionarse la posibilidad de que exista recirculación del aire de salida hacia la zona de baja presión, creada por el ventilador en la entrada de aire.

En las torres de tiro forzado el grupo moto-ventilador se encuentra situado a baja altura, *Fig.1.2*, facilitando el mantenimiento y no está sometido a un ambiente de trabajo con alto porcentaje de humedad.



*Fig.1.2 – Torre de tiro forzado*

### 2) Torre de tiro inducido

Estas a su vez se pueden clasificar en:

- a) Flujo a contracorriente
- b) Flujo cruzado

#### *a) Torres de tiro inducido a flujo contracorriente*

En este tipo de torres, *Fig.1.3*, el aire se mueve verticalmente a través del relleno, de manera que los flujos de agua y de aire tienen la misma dirección pero sentido opuesto. La ventaja que tiene este tipo de torres es que el agua más fría se pone en contacto con el aire más seco,

lográndose un máximo rendimiento. El aire puede entrar a través de una o más paredes de la torre, con lo cual se consigue reducir en gran medida la altura de la entrada de aire. Si la velocidad con la que entra el aire es elevada, existe el riesgo de arrastre de suciedad y cuerpos extraños dentro de la torre. La resistencia del aire que asciende contra el agua que cae se traduce en una gran pérdida de presión estática y en un aumento de la potencia de ventilación en comparación con las torres de flujo cruzado.

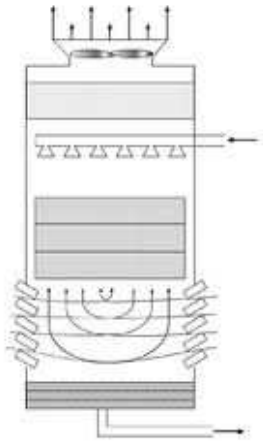


Fig.1.3 – Torre de tiro inducido a flujo contracorriente

b) Torre de Tiro Inducido a flujo cruzado

En las torres de flujo cruzado, el aire circula en dirección perpendicular respecto al agua que desciende.

### 1.3 Torres de tiro inducido versus torres de tiro forzado

El objetivo de este trabajo es comparar el comportamiento térmico y la eficiencia electromecánica de las torres de enfriamiento de tiro inducido y tiro forzado, para diferentes tipos de rellenos. A continuación se dan algunas de las diferencias entre las torres de tiro inducido y tiro forzado, Ref. [3].

A pesar de frecuentemente estar construidas de materiales similares, las torres de enfriamiento de agua pueden diferir notablemente en aspectos, intangibles pero fundamentales como ser el rendimiento real de la unidad. A menudo, estas sutilezas técnicas son solamente discernibles por los profesionales que diariamente o sistemáticamente participan del diseño, fabricación y/o evaluación de dichas unidades. En muchos casos, verdaderamente lamentables, estas sutilezas se traducen para los confiados usuarios en importantes irregularidades térmicas,

inexplicables, y que a menudo ocasionan mayor consumo de energía que el necesario, trastornos y/o perjuicios en el proceso productivo en montos varias veces la inversión de capital realizada.

Las torres de enfriamiento de tiro forzado presentan ciertas deficiencias que frecuentemente son ignoradas por usuarios industriales, naturalmente ajenos a la especialidad, pero también por profesionales del sector, que tanto especifican como instalan unidades apelando a la buena fe de los proveedores o a la similitud de datos de catálogos. Lamentablemente, por las razones que sean, los riesgos y las limitaciones de un diseño históricamente exhausto se subordinan al interés comercial de proveedores o intermediarios ocasionales o en el mejor de los casos, de escasa formación en la especialidad.

Concretamente, las torres de enfriamiento de tiro forzado:

1. Configuran un alto riesgo de déficit, con incumplimientos térmicos cercanos al 20% e incluso fácilmente escalables al 40 – 50%.
2. Plantean perjuicios adicionales por exceso de arrastre o salpicado de gotas al producirse el deterioro prematuro del eliminador de gotas.

#### **1.4 Estudio general de una torre de enfriamiento de tiro forzado**

En la *Fig.1.2* se puede ver un esquema de una torre de enfriamiento de tiro forzado, la cual tiene los siguientes elementos:

- Sistema de distribución de agua.
- Separadores de gota.
- Relleno.
- Sistema motopropulsor.
- Cuba de depósito y sistema de salida de agua.

A continuación se explicitan cada uno de estos elementos.

##### **1.4.1 Sistemas de distribución de agua**

- Entrada de Agua: la cual se hace mediante tubos de plástico o canales de madera, con sistemas de bombas que permitan un flujo continuo de agua.

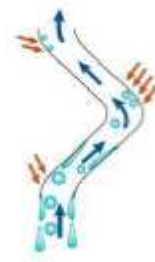
- Caja distribuidora de agua: la distribución del agua dependerá en gran medida del tipo y arreglo de las toberas de pulverizado o picos rociadores que se utilicen.

### 1.4.2 Separadores de gota

Son placas de poca longitud dispuestas en forma paralela a la dirección del flujo de salida, *Fig.1.4*, pero con acentuados cambios de curvatura con el fin de retener las gotas que arrastra el caudal de aire, disminuyendo así el consumo de agua de reposición. Como consecuencia de la pulverización del agua y del flujo de aire, se produce un arrastre de pequeñas gotas de agua al exterior de la torre; las fuerzas que surgen como consecuencia de la variación de la cantidad de movimiento separan las gotas de agua y las depositan en la superficie de los canales donde se van acumulando para luego caer al interior de la torre por acción de la fuerza de gravedad, *Fig.1.5*.



*Fig.1.4 – Separagotas convencional*



*Fig.1.5 – Esquema de un separagotas*

### 1.4.3 Relleno

El relleno o empaque de las torres tiene como misión mejorar el proceso de transferencia de calor incrementando la superficie de intercambio y aumentando el tiempo de contacto entre el agua y el aire. Se clasifican en:

1. Relleno de salpicado, *Fig.1.6*.
2. Relleno de película, *Fig.1.7*.
3. Relleno mixto, *Fig.1.8*.

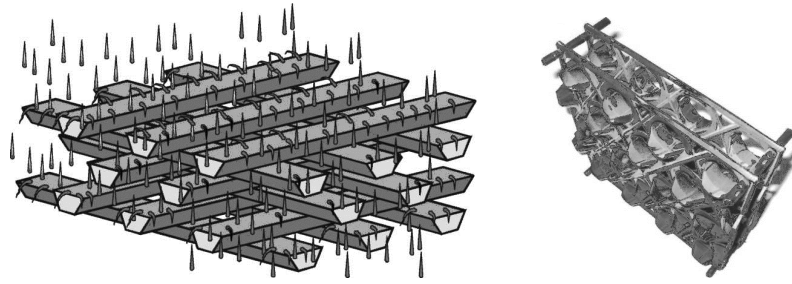


Fig.1.6 – Relleno de salpicado

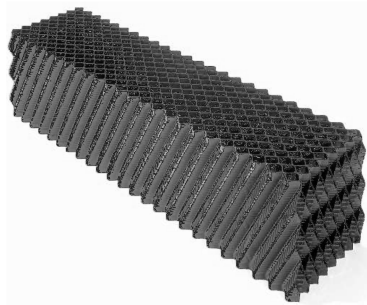


Fig.1.7 – Relleno de película

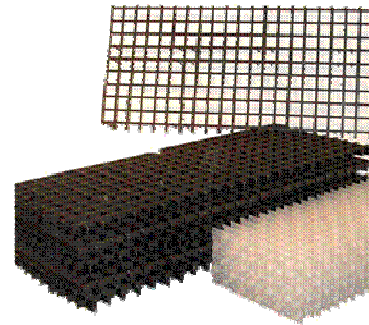


Fig.1.8 – Relleno mixto

#### 1.4.4 Sistema motopropulsor

Las dos clases de ventiladores que se utilizan para impulsar el aire en el interior de las torres para enfriamiento de agua son:

1. Axiales (caso de la torre en estudio), Fig.1.9.
2. Centrífugos, Fig.1.10.

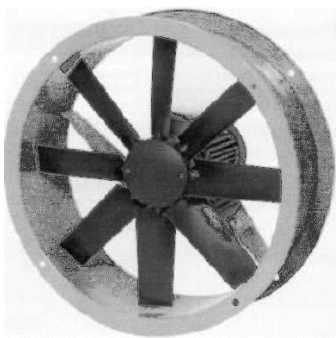


Fig.1.9 – Ventilador Axial

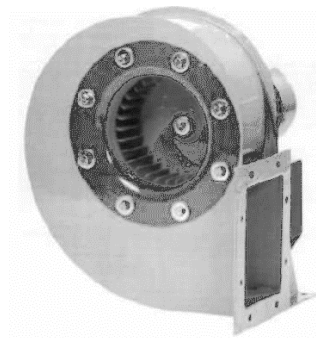


Fig.1.10 – Ventilador Centrifugo

### 1.4.5 Cuba de depósito y sistema de salida de agua

Sistema que permite la recolección del agua y recirculación de la misma a los depósitos para poder utilizarla nuevamente.

## 1.5. Principio de funcionamiento

### 1.5.1 Marco teórico

El análisis de la torre puede realizarse según los siguientes aspectos:

1. El fenómeno físico que tiene lugar en el interior de la torre: Análisis micro, a través del cual se evalúa el proceso de termo transferencia al producirse el contacto entre las fases líquida y gaseosa en cualquier sección del relleno.
2. La torre como conjunto: Análisis macro, en el cual solo se consideran las propiedades de los fluidos a la entrada y salida de la misma, sin tener en cuenta lo sucedido en su interior.

El funcionamiento de la torre puede ser expresado por la *ecuación (1.1)*, Ref. [1]:

$$\eta_d = \frac{K_g \cdot a \cdot S_0 \cdot Z}{L} = C_L \cdot \int_{T_{cw}}^{T_{hw}} \frac{dT_L}{(i_L - i_g)} \quad (1.1)$$

Dónde:

- $\eta_d$  es el *número de unidades de difusión* o *característica de performance* de la torre. [-].
- $K_g$  es el coeficiente de transferencia másica a través de la película gaseosa.  $\left[ \frac{\text{Kg de vapor condensado}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \right]$ .
- $a$  es la superficie de transferencia equivalente por unidad de volumen de la torre.  $\left[ \frac{1}{\text{m}} \right]$ .
- $S_0$  es la superficie total de la sección transversal de la torre.  $[\text{m}^2]$ .
- $Z$  es la altura del relleno de la torre.  $[\text{m}]$ .
- $L$  es el caudal másico de agua.  $\left[ \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \right]$ .

- $C_L$  es el calor específico del agua.  $\left[\frac{KJ}{Kg \cdot K}\right]$ .
- $T_{hw}$  es la temperatura de agua caliente.  $[^{\circ}C]$ .
- $T_{cw}$  es la temperatura de agua fría.  $[^{\circ}C]$ .
- $dT_L$  es el diferencial de temperatura del líquido (agua).  $[^{\circ}C]$ .
- $(i_L - i_g)$  es la diferencia de entalpías entre el líquido (agua) y el gas (aire húmedo).  $\left[\frac{KJ}{Kg}\right]$ .

$\frac{K_g \cdot a \cdot S_0 \cdot Z}{L}$  representa las características propias de transferencia de masa o calor de la torre o del relleno, y es llamado característica de la torre o del relleno. Este término muestra cómo se expresa  $\eta_d$  en términos de un coeficiente de transferencia de masa ( $K_g$ ) y del factor que vincula la superficie efectiva de transferencia con la geométrica ( $a$ ). Puede interpretarse como resultado del análisis a nivel micro. La característica de performance de la torre representa las prestaciones termodinámicas de la misma porque señala la cantidad de masa de vapor de agua transferida al aire por unidad de caudal de agua (unidades de difusión).

$C_L \cdot \int_{T_{cw}}^{T_{hw}} \frac{dT_L}{(i_L - i_g)}$  permite determinar experimentalmente  $\eta_d$ . El mismo muestra el resultado del análisis macro.

El estudio del análisis micro del número de unidades de difusión nos lleva al estudio de la entalpía local de la masa de aire húmedo  $i_g$  en cualquier sección de la torre, la cual se puede expresar en términos de la relación entre la masa líquida y la del aire ( $L/G$ ), mediante la ecuación (1.2), ver Ref. [1].

$$i_g(T_L) = i_g(T_{wb}) + C_L \cdot \frac{L}{G} \cdot (T_L - T_{cw}) \quad (1.2)$$

El término independiente corresponde al valor de la entalpía del aire al ingreso en la torre, lo cual es dato o puede determinarse experimentalmente a partir de las temperaturas de bulbo húmedo ( $T_{wb}$ ) y bulbo seco ( $T_{db}$ ) por sus propiedades psicrométricas.

Representando, en un sistema de ejes coordenados con temperatura en abscisas y entalpía en ordenadas podemos obtener la línea de operación del aire  $i_g$  y la del aire saturado  $i_s$ , Fig. 1.11.

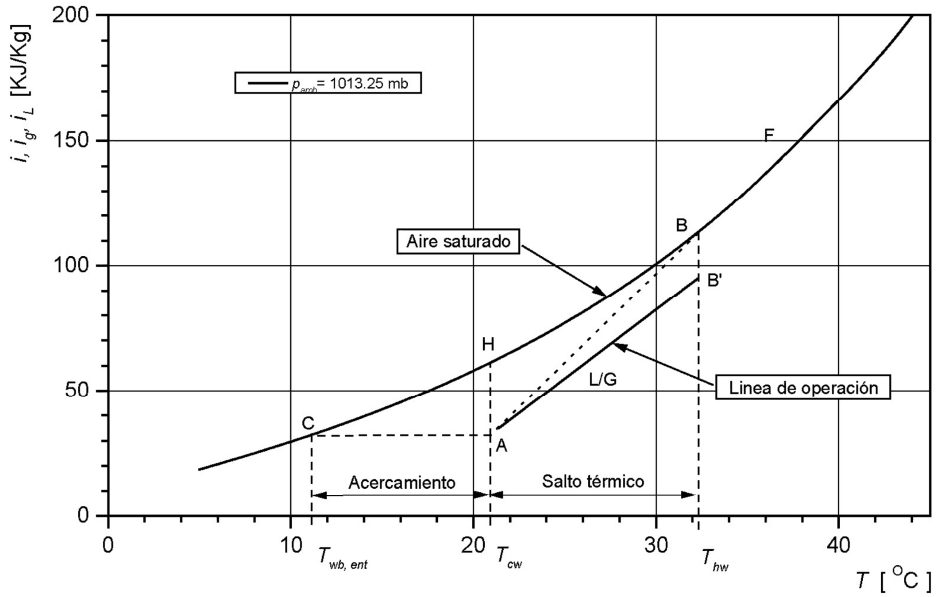


Fig.1.11 - Diagrama entálpico del proceso de enfriamiento

A la diferencia entre las temperaturas  $T_{wb}$  y  $T_{cw}$  se la denomina *Acercamiento o aproximación* y a la diferencia entre la temperatura de entrada del agua,  $T_{hw}$ , y la de salida,  $T_{cw}$ , se la conoce como *Salto térmico ( $\Delta T$ ) o rango*.

La capacidad de enfriamiento del agua y el aire se puede representar (para cada  $\Delta T$ ,  $T_{wb}$  y  $P_{atm}$ ) mediante las denominadas curvas de demanda, Fig.1.12, las cuales se obtienen a partir del término de la derecha de la ecuación 1.1.

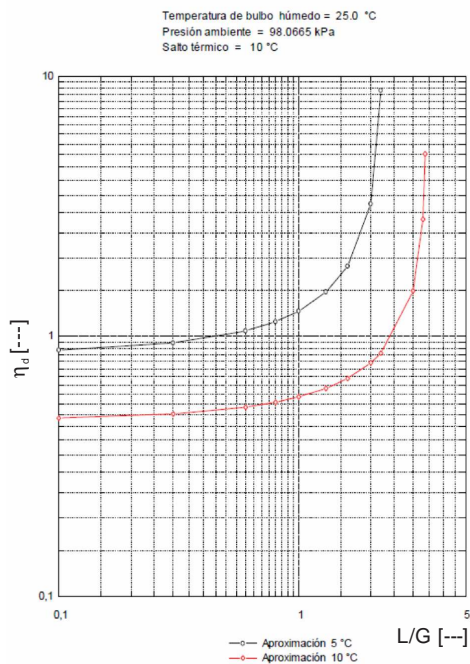


Fig.1.12 – Curvas de demanda para un determinado valor de  $\Delta T$ ,  $T_{wb}$  y  $P_{atm}$



### 1.5.2 Curva de funcionamiento

El análisis micro no permite plantear un procedimiento para encontrar el número de unidades de difusión que produciría una torre para distintas solicitaciones. El CTI a partir de datos empíricos, tomados en distintas torres comerciales, ha encontrado que una curva de funcionamiento típica, responde a una ecuación del siguiente tipo:

$$\eta_d = \frac{K \cdot a \cdot V}{L} = C \cdot \left(\frac{L}{G}\right)^{-n} \quad (1.3)$$

Esta relación se conoce como *Curva de funcionamiento* de la torre. Para la determinación experimental de la curva de funcionamiento de una torre de enfriamiento, se realizan varios ensayos con diferentes relaciones de  $L/G$  y se obtiene para cada uno de ellos el correspondiente  $\eta_d$ . Los valores se representan gráficamente en función de  $L/G$  utilizando coordenadas logarítmicas, y se los expresa matemáticamente como:

$$\text{Log} (\eta_d) = A + B \cdot \text{Log} \left(\frac{L}{G}\right) \quad (1.4)$$

Dónde:  $A = \text{Log} (C)$  y  $B = -n$ , sus valores se pueden obtener a partir de los datos obtenidos experimentalmente utilizando la técnica de regresión lineal. En la *Fig.1.13* se presenta una curva de funcionamiento; en abscisas se representa el  $\text{Log} (\eta_d)$  y en ordenadas  $\text{Log} (L/G)$ .

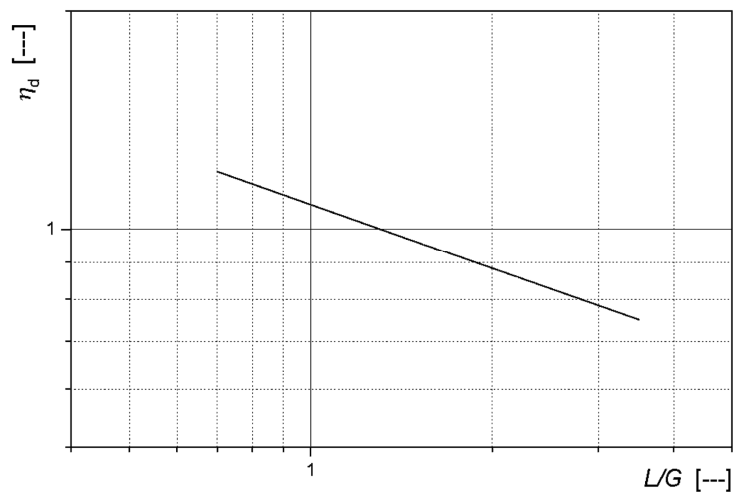


Fig.1.13 – Curva de Funcionamiento de una torre de enfriamiento

### 1.5.3 Punto de diseño

Las prestaciones termodinámicas ( $\eta_d$ ) de cada torre de enfriamiento es función de la relación de caudales máscos agua/aire ( $L/G$ ), y se presentan a través de la ya definida curva de funcionamiento o curva característica de la torre.

La intersección de la curva de funcionamiento de la torre con la curva de unidades de difusión disponibles o de demanda, para una dada condición de funcionamiento, determina lo que se conoce como *Punto de diseño o de funcionamiento* de la torre de enfriamiento, Fig.1.14.

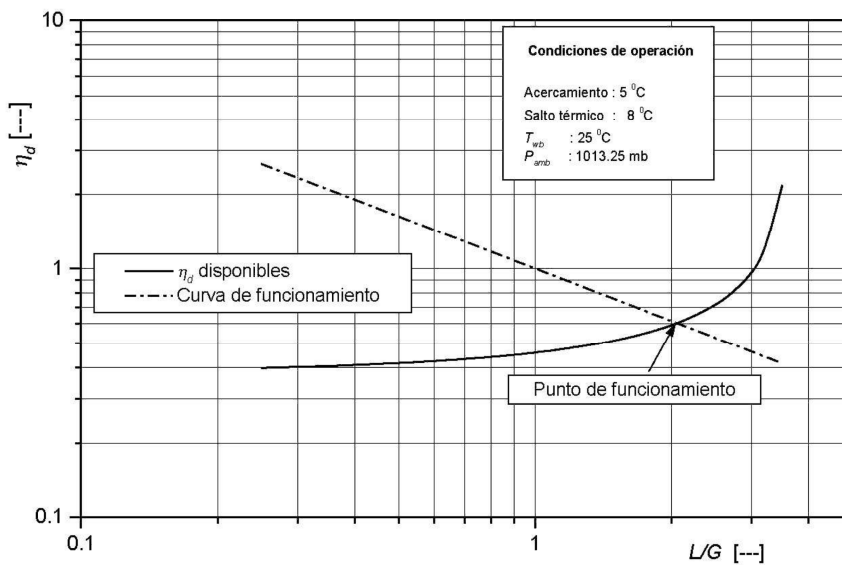


Fig.1.14 Punto de funcionamiento de una torre de enfriamiento

### 1.5.4 Prestaciones de las torres de enfriamiento de agua

Las torres de enfriamiento actúan eficientemente en el marco de determinados valores de los parámetros que caracterizan su operación.

El proceso llevado a cabo en las torres se caracteriza por la transferencia de calor. Durante este proceso juega un rol importante las características del flujo relativo entre las corrientes de aire y de agua. Un parámetro importante en ambos flujos es la velocidad media de cada uno de los fluidos ya que en razón de las condiciones en las cuales se desarrolla el flujo en el interior de las torres y debido a la presencia del relleno, las velocidades del aire y del agua no se mantienen constantes. Es decir para cada condición de funcionamiento de la torre existe una máxima relación de caudales máscos agua-aire,  $L/G$ , que permite alcanzar los valores esperados en el enfriamiento del agua.

Los rangos de utilización de estos parámetros son:

- $L/G = 1$  a  $1,5$
- $V_m = 1$  a  $5$  [m/s]
- $CT = \text{Carga de Agua} = 9$  a  $25$  [m/h]

Sobre esto hay que cuidar siempre que no ocurra el bloqueo de la torre, que se produce aumentando el caudal de agua o por un aumento de la velocidad del flujo.

Para comprender los fenómenos relativos al funcionamiento de las torres de enfriamiento, es preciso conocer las prestaciones termodinámicas de las mismas en función de  $L/G$ , independientemente de las condiciones ambientales. Dada las dificultades de obtención teórica de estas performances, se hace ineludible su comprobación empírica, esto lleva necesariamente a dominar los parámetros de similitud relacionados con el proceso que tiene lugar en el interior de la torre, Ref. [1] y Ref. [2].

### 1.5.5 Eficiencia electromecánica de las torres de enfriamiento

En las torres de tiro mecánico es importante conocer la eficiencia con la cual el grupo motor-ventilador transforma la energía eléctrica en la energía cinética y de presión necesaria para contrarrestar la pérdida de carga que produce el flujo de aire durante el funcionamiento de la torre.

El parámetro que evalúa esto se llama Parámetro de calidad Electro-Fluido Dinámico,  $QP$ , que se define como la relación entre la potencia eléctrica activa,  $N_{act}$ , y la energía cinética del flujo de aire,  $Ec$ , en el interior de la torre, Ref. [4].

$$QP = \frac{N_{act}}{Ec} \quad (1.5)$$

El cual, operando, resulta:

$$QP = \frac{\tau}{\eta_{mtv}} \quad (1.6)$$

Donde  $\tau$  es el coeficiente de pérdida de carga y  $\eta_{mtv}$  es la eficiencia del grupo impulsor del aire, cuyo coeficiente incluye las eficiencias del motor eléctrico, transmisión y ventilador.

Cuanto menor sea el parámetro de calidad electro-fluido dinámico, el proceso de transformación de energía eléctrica en cinética resultará más eficiente.



## CAPITULO 2

### 2. Ensayos en torres de enfriamiento

#### 2.1 Introducción

Existen diferentes metodologías empíricas o experimentales para evaluar torres de enfriamiento, en este trabajo se adoptó el método experimental dado por el Cooling Tower Institute (CTI), Ref. [5].

Como ya se vio anteriormente, la curva de funcionamiento de una torre de enfriamiento está dada por la *ecuación (1.3)*. Para su determinación se utiliza la propuesta metodológica dada por el CTI con el fin de obtener el número de unidades de difusión a diferentes valores de la relación  $L/G$ , para luego determinar la función de regresión de la curva de funcionamiento de la torre de enfriamiento y obtener los valores de la *ecuación (1.3)*.

#### 2.2 Requisitos para la realización de ensayos

El CTI a través del código ATC 105 establece como requisitos para los ensayos, entre otros, los siguientes ítems:

##### 2.2.1 Condiciones del equipo

La torre debe estar en buenas condiciones operativas y cumpliendo los siguientes requisitos:

- Los sistemas de distribución de agua deberán estar limpios y libres de materiales extraños que puedan impedir el normal flujo del agua.
- Los equipamientos mecánicos, si existen, deberán estar en buenas condiciones operativas.
- Entre otros, Ref. [1], Ref. [2], y Ref. [6].

##### 2.2.2 Condiciones de operación

El ensayo se debe desarrollar en el marco de las siguientes limitaciones:

- Las temperaturas de bulbo seco y húmedo deberán ser los valores del aire a la entrada.

- La velocidad del viento deberá ser medida de conformidad con el párrafo 2-1-1 de dicho código y no deberán excederse los valores siguientes:
  - Velocidad promedio del viento:.....16 [km/h] (10 [mph])
  - Ráfagas de un minuto de duración:.....24 [km/h] (15 [mph])
  
- Entre otros, Ref. [1], Ref. [2], y Ref. [6].

### 2.2.3 Tolerancia en las condiciones de operación

La variación de las condiciones de operación debe estar dentro de estos límites:

- Caudal de agua: .....± 5%
- Carga térmica: .....± 5%
- Salto térmico: .....± 5%

Las lecturas instantáneas de temperatura pueden variar, pero el rango de variación de los promedios durante el período de ensayo no debe exceder:

- Temperatura de bulbo seco: .....± 2.78 [°C/h] (5 [°F/h])
- Temperatura de bulbo húmedo: .....± 1.12 [°C/h] (2 [°F/h])

### 2.2.4 Instrumental del ensayo

La determinación de las performances térmicas requiere que los instrumentos tengan una adecuada precisión y además que estén calibrados antes de la ejecución de los mismos.

### 2.2.5. Parámetros a medirse

- Caudales de agua, Ref. [1].
- Temperaturas, Ref. [1].
- Temperatura de agua, Ref. [1].
- Temperatura de aire, Ref. [1].
- Otros parámetros a medir, Ref. [1].

Los instrumentos usados para la medición de los parámetros deberán cumplir los requerimientos de precisión, apreciación y frecuencia de toma de lecturas dados en la *Tabla 2.1* de acuerdo a lo establecido en el CTI Code ATC-105.

Parámetro	Precisión	Apreciación	Cantidad de lecturas (*)
Caudal de agua circulante	± 1.25 %	3.785 lts/min (1 gpm)	3
Caudal de agua de reposición	± 1.25 %	3.785 lts/min (1 gpm)	2
Caudal de agua de sangrado	± 1.25 %	3.785 lts/min (1 gpm)	2
Temperatura de agua caliente	± 0.055 °C (± 0.1 °F)	0.11 °C (0.2 °F)	12
Temperatura de agua fría	± 0.055 °C (± 0.1 °F)	0.11 °C (0.2 °F)	12
Temperatura de caudal de reposición	± 0.055 °C (± 0.1 °F)	0.11 °C (0.2 °F)	2
Temperatura de caudal de sangrado	± 0.055 °C (± 0.1 °F)	0.11 °C (0.2 °F)	2
Temp. de admisión de bulbo seco	± 0.055 °C (± 0.1 °F)	0.11 °C (0.2 °F)	
Temp. de admisión de bulbo húmedo	± 0.055 °C (± 0.1 °F)	0.11 °C (0.2 °F)	
Velocidad y dirección del viento	----- (1)	1.61 km/hr (1 mph)	
Presión barométrica	----- (1)	33.85 Pa (0.01 pulg. Hg)	1
Presión total a la entrada	----- (1)	0.03048 m (0.1 pie)	1

(\*) Número mínimo de mediciones por hora y por estación.

(1) La precisión no está especificada en el Código ATC-105 del CTI

*Tabla 2.1- Requerimientos de precisión, apreciación y frecuencia en la toma de datos*

### 2.2.6 Duración del ensayo

Una vez alcanzada la condición de funcionamiento estacionario, el tiempo de ensayo debe ser no menor de 1 hora.

### 2.2.7 Localización de los puntos de medición de los parámetros

El CTI ATC-105 no define una única posibilidad de ubicación para cada parámetro, sino que para algunos, enumera una serie de posibles localizaciones mientras que para otros, por ejemplo temperaturas del aire de admisión, fija zonas donde la instalación de los sensores está permitida.

### 2.2.8 Mediciones

#### 1) *Potencia*

Mediante vatímetro.

#### 2) *Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo*

Los sensores de temperatura del aire a la entrada deberán ubicarse a una distancia menor a 1,22 [m] (4 [ft]) de la boca de entrada de aire.

#### 3) *Temperaturas de agua*

Los sensores deberán estar ubicados en puntos donde se asegure un valor representativo de la temperatura del flujo total del agua, garantizado por un mezclado adecuado de la misma.

##### a) *Temperatura de agua caliente.*

La temperatura del agua caliente se podrá medir en distintos puntos, por ejemplo:

- En la entrada del conducto de entrada de agua.
- En la descarga del conducto de entrada.
- En los colectores (previos a los rociadores).
- En los sistemas de distribución.
- Para torres con varias celdas en el suministro principal, justo antes del primer rociador.

##### b) *Temperatura de agua fría.*

Se tomará con un sensor colocado en el conducto de salida de agua fría, después de la bomba de circulación de agua (si hubiese una muy cercana a la salida del agua fría), a una distancia de 5 diámetros de la bomba, con el objeto de mitigar las perturbaciones en el flujo.

#### 4) *Caudal de agua*

El CTI ATC-105 recomienda diferentes dispositivos mediante los cuales se puede efectuar la medición de los caudales de agua, a saber:

- Tubo Venturi
- Caudalímetros volumétricos a turbina



- Sondas Pitot, para relevar el campo de velocidades.
- Orificio calibrado
- Toberas de descarga
- Vertederos

### 5) Caudal de aire

El CTI propone la utilización de dos instrumentos para realizar la determinación del caudal de aire, ellos son el anemómetro y el tubo Pitot, los cuales permiten medir la velocidad del aire.

### 2.2.9 Evaluación de los resultados

La lectura de todos los parámetros debe ser realizada a intervalos regulares durante el periodo que dura el ensayo, tanto en las temperaturas de agua como en las de aire y caudal de agua, teniéndose presente el régimen estacionario de funcionamiento. El valor de cada uno de estos parámetros será considerado como el valor del ensayo.

La potencia del ventilador será registrada una sola vez durante el ensayo

### 2.3 Instalación experimental

Para la determinación de las performances térmicas de una torre de enfriamiento se cuenta, con los siguientes elementos, Ref. [1]:

- Calefones: se dispone de dos calefones de la firma Orbis de una capacidad de 14 [l], conectados en paralelo, *Fig.2.1*, los cuales reciben agua fría de dos posibles fuentes: por un lado de la red y por otro del tanque de agua fría.



*Fig.2.1 – Calefones conectados en paralelo*

- Bombas impulsoras de Agua (del tipo centrífuga): en nuestro caso se usan tres diferentes tipos de bombas que cumplen tres funciones diferentes, las cuales son las siguientes:

1. Bomba Agua Caliente: Es la encargada de enviar el agua caliente del tanque a la tobera de distribución, ya en el interior de la torre, *Fig.2.2*.



*Fig.2.2 – Bomba de agua caliente*

2. Bomba de Agua fría: Extrae el agua de la cuba de la torre y la envía al “tanque de agua fría”, *Fig.2.3*.



*Fig.2.3 – Bomba de agua fría*

3. Bomba de Recuperación: Tiene la función de enviar el agua del “tanque frío” al “tanque caliente”, o a los “calefones”, o a ambos, según la situación lo amerite, *Fig.2.4*.



*Fig.2.4 – Bomba de recuperación*

- Depósitos de Agua (Agua caliente y fría): para nuestro caso se dispone de dos tanques, al utilizarse diferentes caudales es necesario tener un deposito grande para cumplir los requerimientos de los ensayos, por eso se utilizan tanques, los cuales se describen a continuación:

1. Tanque de Agua Fría: Tanque de 2500 [l] en donde se deposita el agua fría proveniente de la torre, *Fig.2.5*.



*Fig.2.5 – Tanque de agua fría*

2. Tanque de Agua Caliente: A este tanque, de 2500 [l], lo abastece el agua proveniente de los calefones por un lado, y por otro el agua del “tanque de agua fría” por medio de la “bomba de recuperación” a través de una lógica de válvulas, *Fig.2.6*.



Fig.2.6 – Tanque de agua caliente

- Mangueras de Conexión Flexibles y caños para el circuito de agua  $\phi = 2''$ .
- Válvulas de Cierre.
- Instrumental para la medición:
  1. Caudal de Agua: Caudalímetro, Fig.2.7. Necesario para medir el caudal de agua caliente que ingresa a la torre, es del tipo electromagnético de la firma Siemens, modelo MAG 5100W. Se compone de un visor digital, y además posee una conexión con el SAD.



Fig.2.7 – Caudalímetro Siemens modelo MAG 5100W

2. Temperaturas:
  - (a) Temperatura de Agua Fría: Se utilizan sensores del tipo RTD de Pt, (RTD – Resistance Temperature Detector), Fig.2.8, son sensores de temperatura basados en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Están conectados al SAD.



Fig.2.8 – Sensor RTD, vista lateral (izquierda), y vista frontal (derecha)

- (b) Temperatura de Agua Caliente: ídem al anterior, Fig.2.8.
- (c) Temperatura de Bulbo Húmedo: ídem al anterior, Fig.2.9.
- (d) Temperatura de Bulbo Seco: ídem al anterior, Fig.2.9.

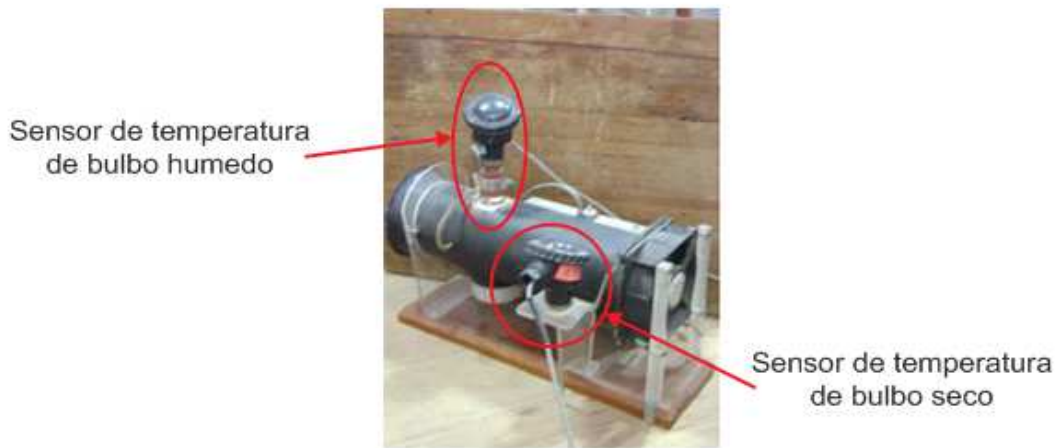


Fig.2.9 – Psicrómetro usado para medir temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco

- 3. Sensor de Presiones: Es un módulo, Fig.2.10, que se encarga de medir una presión absoluta (presión atmosférica), y dos presiones diferenciales ( $\Delta P_A$  y  $\Delta P_T$ ). Para la determinación del caudal de aire en la torre de tiro forzado solo se usa una de las presiones diferenciales, correspondiendo esta a la presión total del flujo de aire referida a la presión atmosférica. Como la presión estática coincide con la presión ambiente (por que la sección de trabajo es abierta), queda determinada la presión dinámica, con la cual se calculan las velocidades, y en consecuencia el caudal de aire. El modulo recibe las señales de presión total, referidas a la presión atmosférica, que sienten las sondas de exploración, o peineta de sondas totales.



Fig.2.10 – Sensor de presiones

4. Condiciones Atmosféricas:

- a) Barómetro: modelo 2K R. FUESS BERLIN – STEGLITZ. Se usa para medir la presión atmosférica.
- b) Higrómetro eléctrico: modelo TES 1360, Fig.2.11. Un higrómetro o hidrógrafo es un instrumento que se utiliza para medir el grado de humedad del aire, u otro gas.



Fig.2.11 – Higrómetro eléctrico modelo TES 1360

- c) Vatímetro: El vatímetro, Fig.2.12, es un instrumento electrodinámico para medir la potencia eléctrica o la tasa de suministro de energía eléctrica de un circuito eléctrico dado. El dispositivo consiste en un par de bobinas fijas, llamadas “bobinas de corriente”, y una bobina móvil llamada “bobina de potencial”.



Fig.2.12 – Vatímetro con tester de ajuste

5. Sistema de adquisición de datos (SAD): Permite registrar y visualizar las señales que surgen de los sensores instalados en la torres de enfriamiento durante los ensayos para determinar las prestaciones termodinámicas de la misma, Fig.2.13. El SAD está integrado por un conjunto de módulos de adquisición de datos (ADAM), Fig.2.14, los cuales están conectados a los respectivos sensores para obtener los parámetros a medir. Estos módulos toman la señal analógica y la convierten en digital para trasmitirla a la PC, a través de un convertor RS 485 - RS 232.



Fig.2.13 – SAD



Fig.2.14 – Módulos ADAM

## 2.4 Calibración del Instrumental

Se decidió emplear las mismas funciones de transferencia de los sensores de presión obtenidas en Ref. [1], las cuales se muestran en las Fig.2.15, Fig.2.16, Fig.2.17 y Fig.2.18.

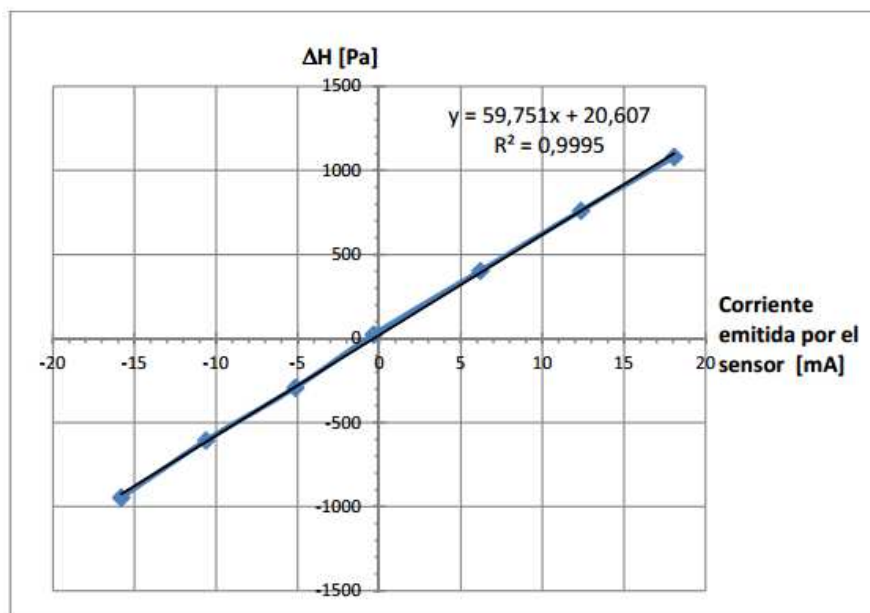


Fig.2.15 – Función de transferencia del sensor 1,  $\Delta P_T$



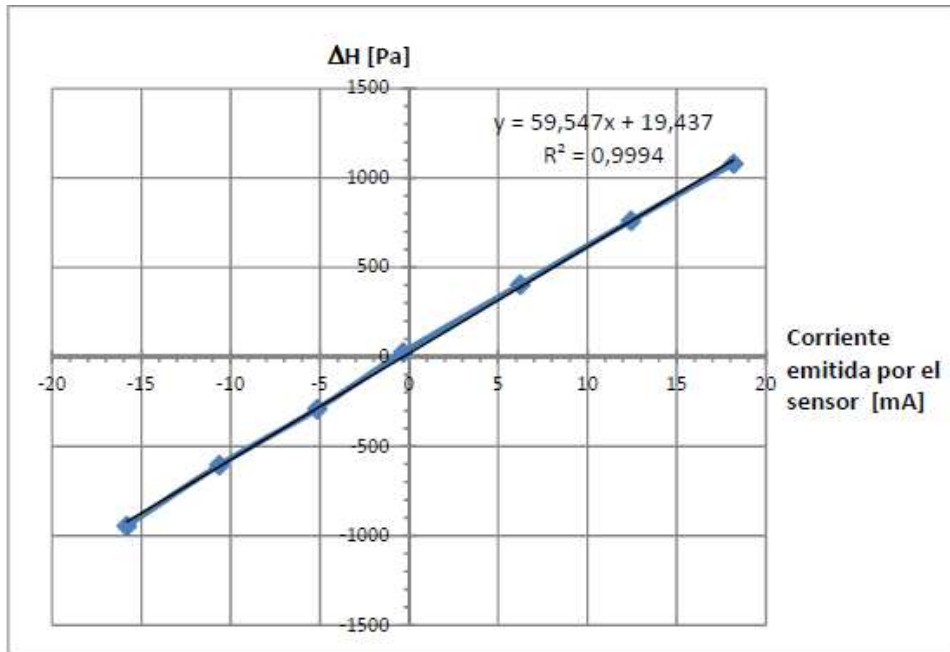


Fig.2.16 – Función de transferencia del sensor 2,  $\Delta P_A$

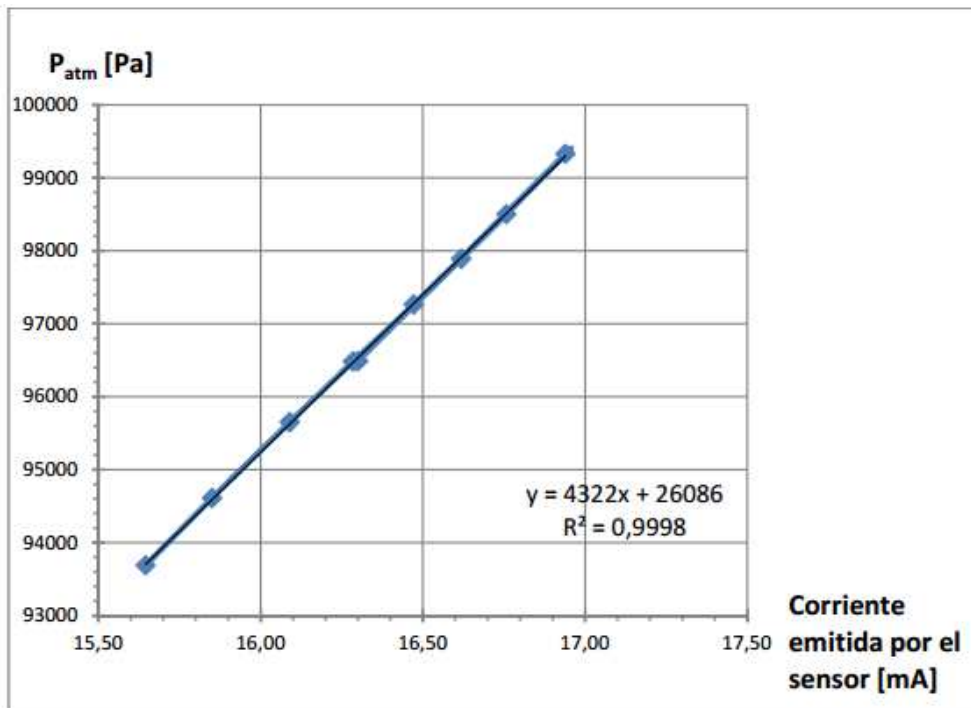


Fig.2.17 – Función de transferencia del sensor 3,  $P_{atm}$



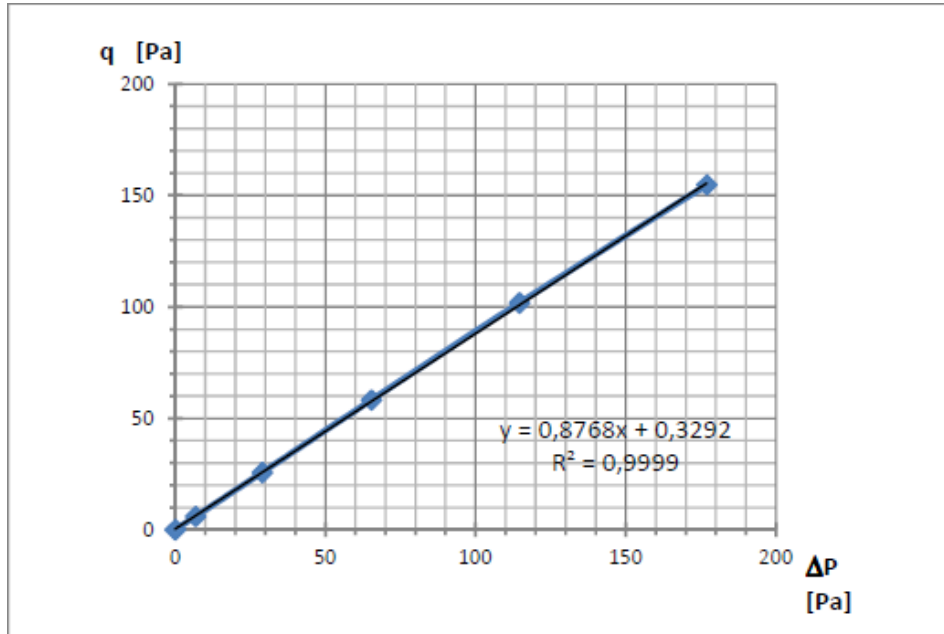


Fig.2.18 – Función de transferencia de la presión dinámica,  $q$

## 2.5 Lugar de Ensayo

El funcionamiento normal de las torres de enfriamiento es al aire libre, por lo tanto su estudio es realizado en las afueras de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la UNC, efectuándose por tal motivo el tiraje de cañerías correspondiente.

## 2.6 Consideraciones previas al ensayo

Para realizar eficientemente los ensayos resulta necesario tener un plan previo, en el cual se definan los caudales de agua y las velocidades de aire con las cuales trabajar durante los ensayos. Antes de poner en marcha el sistema de bombeo, el ventilador y comenzar a adquirir los datos, es recomendable chequear que los sensores de temperatura, presión y caudal de agua estén activos en la aplicación *Torres* del SAD, Ref. [1].

## 2.7 Protocolo

Para la ejecución de los ensayos se definió el siguiente protocolo:

1. Verificar el nivel de agua en los 2 tanques.
2. Si existe agua en el “tanque de agua caliente” la misma deberá ser trasvasada al “tanque de agua fría” a través del sistema de bombeo principal.
3. Encender los calefones.

4. Apertura total de las válvulas de ingreso de agua y puesta en marcha de la “bomba de agua fría”, para llenar el tanque de agua caliente.
5. Si no se alcanza a llegar al límite máximo del tanque de agua caliente, habiendo vaciado el tanque frío, se deberá aportar agua de la red.
6. Se hace hincapié en mantener el nivel de agua en el tanque caliente lo más alto posible ya que es fundamental para tener reserva de agua para realizar los ensayos.
7. Energizar el “banco del SAD”.
8. Encender la PC y los módulos de los sensores.
9. Revisar el interior de la torre, asegurando que existan el tipo y número de capas de relleno deseadas en el ensayo. Asegurar la puerta de ingreso de rellenos.
10. Controlar la correcta posición de roscado y sellado de los sensores de temperatura.
11. No manipular los cables de los RTD's, ya que podría desconectarse algún contacto interno, inhabilitando así la medición
12. Para la medición de las temperaturas de bulbo húmedo, es necesario que la gasa que envuelve al detector esté permanentemente empapada con agua.
13. Determinar el error a cero inicial que poseen los sensores de presión y temperatura, con el ventilador y las bombas de agua apagadas.
14. Encendido del ventilador y bombas de agua caliente y agua fría.
15. Mediante las válvulas respectivas se regula el caudal de agua hasta lograr el previsto.
16. Comienzo de la adquisición de datos mediante el SAD.
17. Mantener siempre un nivel de agua prudencial en la cuba de agua fría.
18. Fin de la adquisición de datos luego de transcurrido un tiempo preestablecido.
19. Repetir los pasos 15 al 18 para los caudales de aire y/o agua previstos.
20. Apagado del ventilador y bombas de agua caliente y agua fría.
21. Determinar los errores a cero finales de los sensores de presión y temperatura.
22. Determinar los parámetros atmosféricos.

## **2.8 Análisis de los resultados posterior al estudio de las performances térmicas y eléctricas**

Una vez realizado el ensayo se hace una verificación rápida de los datos obtenidos, con la finalidad de saber si los valores adquiridos son razonables. Lo mencionado anteriormente se

ejecuta mediante la lectura de los archivos de salida del SAD (archivos denominados ADQUI), y el respectivo análisis gráfico de la evolución de las temperaturas registradas durante el ensayo. Esto se hace mediante el programa “temp”, ver Anexos A y D. En la Fig.2.19 se muestra un ejemplo de los gráficos generados por dicho programa, en el cual las temperaturas se mantienen sin grandes variaciones indicando que el ensayo es aceptable, mientras que en el ejemplo de la Fig.2.20 se muestra un ensayo no aceptable, ya que se observan cambios bruscos de temperaturas.

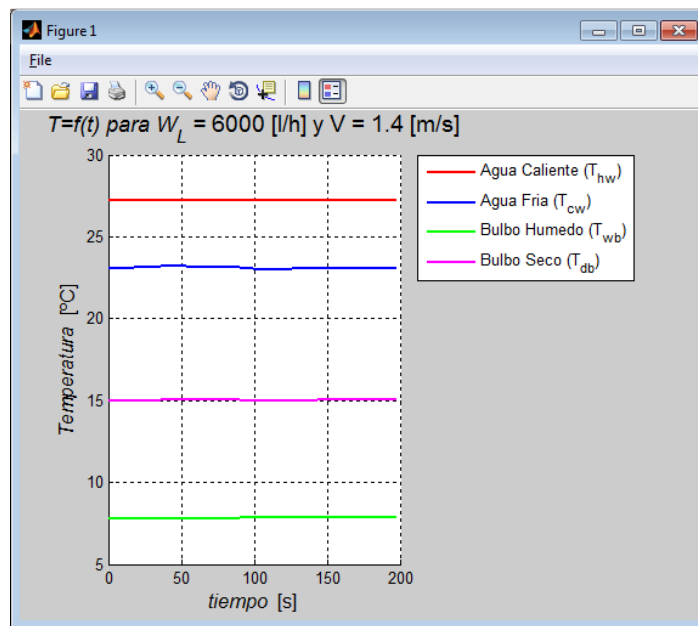


Fig.2.19 – Ejemplo de ensayo aceptable, dado por el programa “temp”

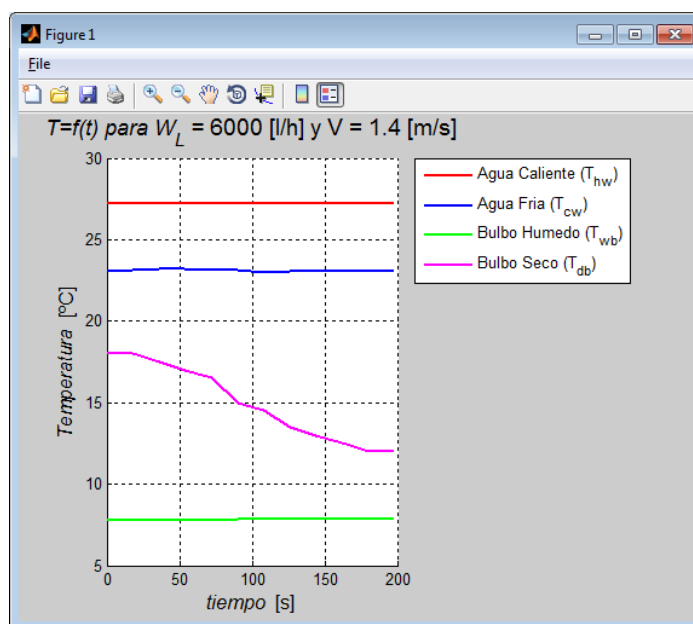


Fig.2.20 – Ejemplo de ensayo no aceptable, dado por el programa “temp”



## CAPITULO 3

### 3. Determinación del caudal de aire

#### 3.1 Introducción

Para la determinación de la curva de funcionamiento de la torre de enfriamiento de tiro mecánico es necesario conocer el caudal de aire que pasa a través de la misma. Por ello se llevaron a cabo ensayos basados en Ref. [6] y Ref. [7].

El caudal de aire se obtiene determinando el campo de velocidades a la salida de la torre, para ello se divide el área de salida en cuadrados de áreas iguales, que es una de las metodologías propuestas por el CTI, Ref. [5]. La presión total, referida a la presión atmosférica, se determina en el centro de cada cuadro, y como la presión estática coincide con la presión ambiente (por que la sección de trabajo es abierta), queda determinada la presión dinámica, con la cual se calcula la velocidad promedio que multiplicada por el área de salida total da el caudal de aire en volumen.

Las mediciones se efectúan con un peine de sondas y el sistema de adquisición de datos (SAD). El peine de sondas mide la presión total manométrica promedio sobre una línea del área, la presión estática no se mide ya que coincide con la presión atmosférica.

#### 3.2 Fundamentos teóricos

La determinación del caudal de aire surge de la obtención de la distribución de velocidades de aire a la salida de la torre de enfriamiento. Esta distribución de velocidades se obtiene midiendo la presión manométrica total del flujo de aire en el interior de la torre de enfriamiento mediante sensores de presiones conectados al SAD, que luego se utiliza para calcular la presión dinámica mediante la función de transferencia de la *Fig.2.18, ecuación (3.1)*, y a partir de esta calcular la velocidad del aire, Ref. [1], y Ref. [2].

$$q = 0,876 \cdot \Delta P + 0,329 \quad (3.1)$$

Donde  $\Delta P$  es la presión total, referida a la presión ambiente, medida y corregida por su error a cero correspondiente. Luego:

$$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \quad \Rightarrow \quad V = \sqrt{\frac{2 \cdot q}{\rho}} \quad (3.2)$$

Finalmente la velocidad obtenida multiplicada por el área normal da el caudal volumétrico  $G$ , ecuación (3.3).

$$G = V \cdot A \quad (3.3)$$

### 3.3 Descripción de la instalación e instrumental usados

#### 3.3.1 Instrumentos

- Peine de sondas, *Fig.3.1* y *Fig.3.2*, diseñado y construido por los autores de este trabajo. Este se compone de 7 sondas de presión total igualmente espaciadas montadas en un perfil, cada sonda se conecta a un pulmón, el cual está vinculado a un sensor del SAD mediante un tubo flexible de plástico. Los planos se encuentran en el Anexo C.
- Sensores de presiones que están conectados a un módulo que permite medir presiones totales y atmosféricas.
- Barómetro modelo 2K R. FUESS BERLIN – STEGLITZ, para medir la presión atmosférica.
- Termómetro de mercurio unido al barómetro, y termómetro incorporado a un higrómetro electrónico.



*Fig.3.1 – Peine de sondas, vista en planta*



*Fig.3.2 – Peine de sondas, vista isométrica*

#### 3.3.2 Instalación

La descripción de la instalación está en el Capítulo 2. En el Anexo C se puede observar un plano general de la misma.

En la *Fig.3.3* se muestra la torre de enfriamiento y el peine de sondas, para determinar el caudal de aire, instalados en las afueras del Laboratorio de Aeronáutica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la UNC.



*Fig.3.3 – Torre de enfriamiento y peine de sondas instalados para determinar el caudal de aire*

### 3.4 Ensayos

Se consideró oportuno estudiar la influencia del caudal de agua para distintos tipos y alturas del relleno, para ello se adoptaron los siguientes regímenes de caudal de agua:

- Sin agua
- 5000 [l/h]
- 7000 [l/h]
- 9000 [l/h]
- 11000 [l/h]

Y las siguientes configuraciones de relleno:

- Torre de enfriamiento en vacío, sin relleno.
- Relleno de película DZ™, 1 capa, Fig.1.7.
- Relleno de película DZ™, 2 capas.
- Relleno de salpicado DZ™, 1 capa en posición (u), Fig.3.4.
- Relleno de salpicado DZ™, 2 capas en posición (u).
- Relleno de salpicado DZ™, 1 capa en posición (n), Fig.3.5.
- Relleno de salpicado DZ™, 2 capas en posición (n).



Fig.3.4 – Relleno salpicado, posición (u)



Fig.3.5 – Relleno salpicado, posición (n)

### 3.5 Metodología

Los pasos seguidos para la obtención del caudal del aire son los siguientes:

1. Configurar tipo y número de capas de relleno.
2. Posicionar el peine de sondas en el primer sector de medición.
3. Determinar las condiciones atmosféricas al inicio,  $P_{atm}$  y  $T_{atm}$ .
4. Obtener los errores a cero iniciales.
5. Poner en funcionamiento la torre de enfriamiento.
6. Regular el caudal de agua hasta lograr el previsto
7. Obtener las mediciones de la presión manométrica total.
8. Colocar el peine de sondas en el siguiente sector de medición y repetir el paso anterior hasta completar la totalidad de estaciones de medición.
9. Regular el caudal de agua hasta lograr el siguiente previsto.
10. Repetir los pasos 7, 8 y 9 para todos los caudales de agua previstos.
11. Detener la torre de enfriamiento.



12. Obtener errores a cero finales.
13. Determinar las condiciones atmosféricas al final,  $P_{atm}$  y  $T_{atm}$ .
14. Repetir todos los pasos antes mencionados para todas la configuraciones de relleno previstas.

### 3.6 Observaciones

Al realizar las mediciones, de acuerdo a Ref. [7], se consideraron los siguientes ítems:

- La posición del peine de sondas en altura no influye en la determinación del caudal de aire, siempre y cuando no se produzcan alteraciones externas en el flujo de aire a la salida de la torre. Se adoptó una altura de 13 [cm] arriba del área de salida de la torre de enfriamiento.
- El espaciado entre sondas si influye en la obtención del caudal de aire, es por esto que se lo hizo de la misma longitud que el lado de los cuadrados en los cuales está dividida el área.

### 3.7 Resultados Obtenidos

#### 3.7.1 Resultados sin agua

Los resultados obtenidos para esta condición de funcionamiento se muestran en *Tabla 3.1*. En el Anexo B se muestran las planillas resumen de estos resultados, y en el Anexo E se muestran los cálculos respectivos. En *Fig.3.6* se muestra la variación del caudal de aire en función de la altura del relleno para todos los rellenos ensayados, y en la *Fig.3.7* la distribución de velocidades correspondiente.

<i>H</i> [cm]	<i>Caudal de Aire</i> [m <sup>3</sup> /s]			
	<i>Sin Relleno</i>	<i>Relleno Película</i>	<i>Relleno Salpicado (u)</i>	<i>Relleno Salpicado (n)</i>
0	1,295	1,295	1,295	1,295
23	0	1,17	1,053	1,069
46	0	1,052	1,15	1,09

*Tabla 3.1 – Caudal de aire sin agua en función de la altura del relleno*

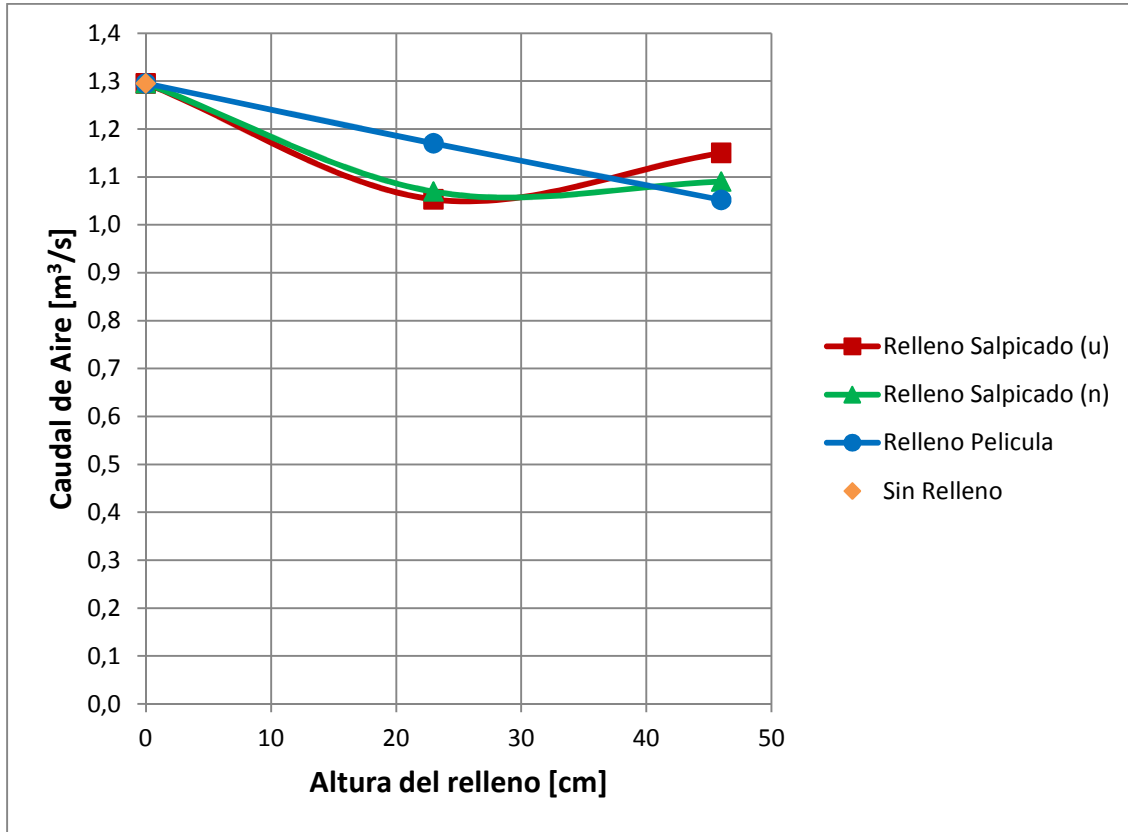


Fig.3.6 – Caudal de aire sin agua en función de la altura del relleno

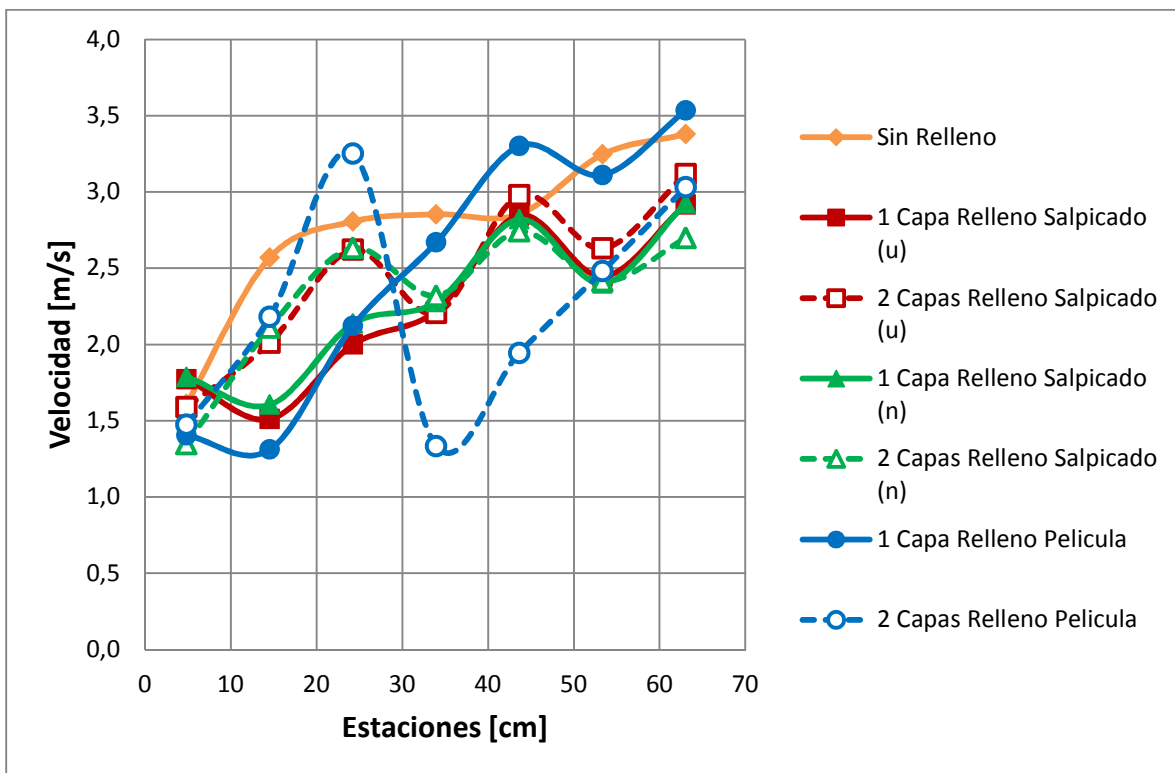


Fig.3.7 – Distribución de velocidades sin agua

### 3.7.2 Resultados con 5000 [l/h] de caudal de agua

Los resultados obtenidos para esta condición de funcionamiento se muestran en *Tabla 3.2*. En el Anexo B se muestran las planillas resumen de estos resultados, y en el Anexo E se muestran los cálculos respectivos. En *Fig.3.8* se muestra la variación del caudal de aire en función de la altura del relleno para todos los rellenos ensayados, y en la *Fig.3.9* la distribución de velocidades correspondiente.

Caudal de Aire [ $m^3/s$ ]				
H [cm]	Sin Relleno	Relleno Película	Relleno Salpicado (u)	Relleno Salpicado (n)
0	1,245	1,245	1,245	1,245
23	0	1,157	1,153	1,038
46	0	1,013	1,276	1,017

Tabla 3.2 – Caudal de aire con 5000 [l/h] de agua en función de la altura del relleno

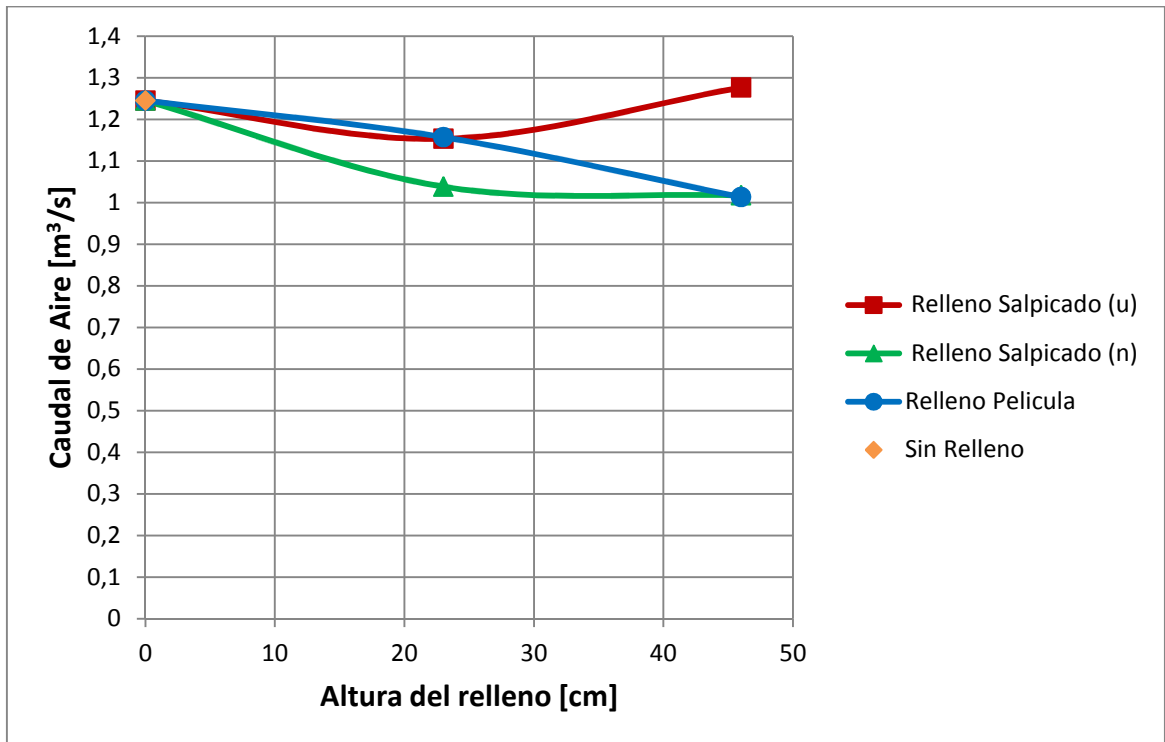


Fig.3.8 – Caudal de aire con 5000 [l/h] de agua en función de la altura del relleno

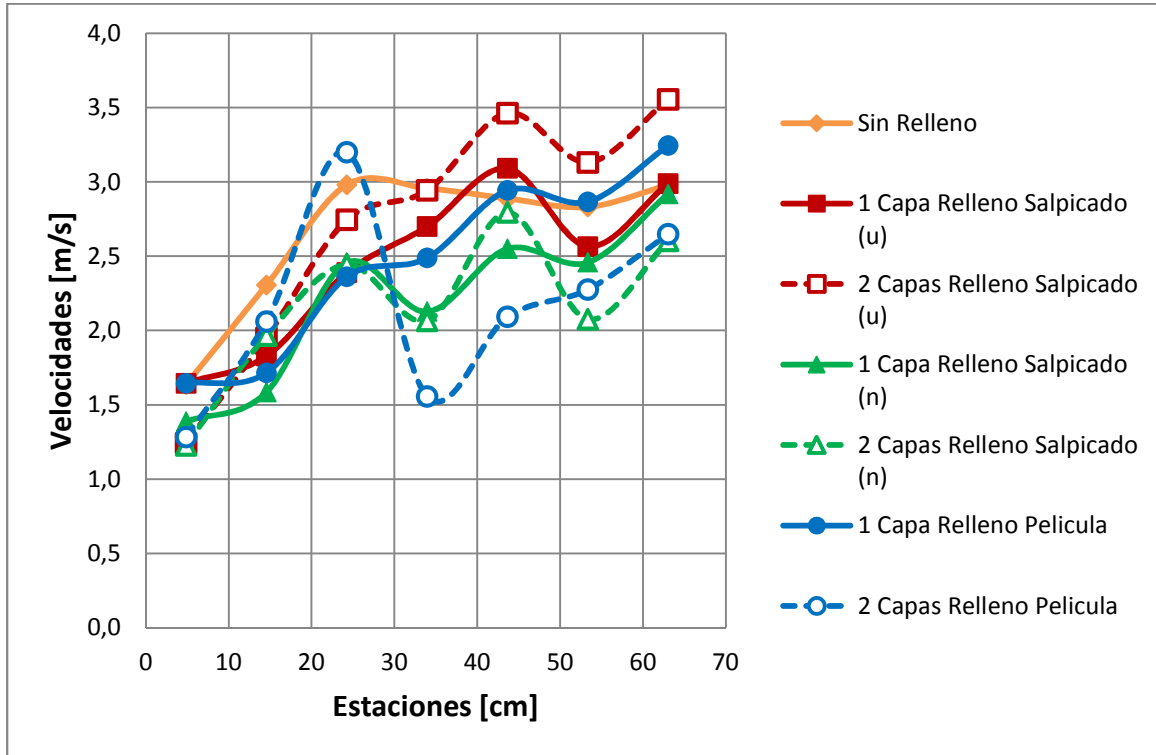


Fig.3.9 – Distribución de velocidades con 5000 [l/h] de agua

### 3.7.3 Resultados con 7000 [l/h] de caudal de agua

Los resultados obtenidos para esta condición de funcionamiento se muestran en *Tabla 3.3*. En el Anexo B se muestran las planillas resumen de estos resultados, y en el Anexo E se muestran los cálculos respectivos. En *Fig.3.10* se muestra la variación del caudal de aire en función de la altura del relleno para todos los rellenos ensayados, y en la *Fig.3.11* la distribución de velocidades correspondiente.

H [cm]	Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]			
	Sin Relleno	Relleno Película	Relleno Salpicado (u)	Relleno Salpicado (n)
0	1,253	1,253	1,253	1,253
23	0	1,102	1,08	1,075
46	0	1,012	1,191	1,022

Tabla 3.3 – Caudal de aire con 7000 [l/h] de agua en función de la altura del relleno

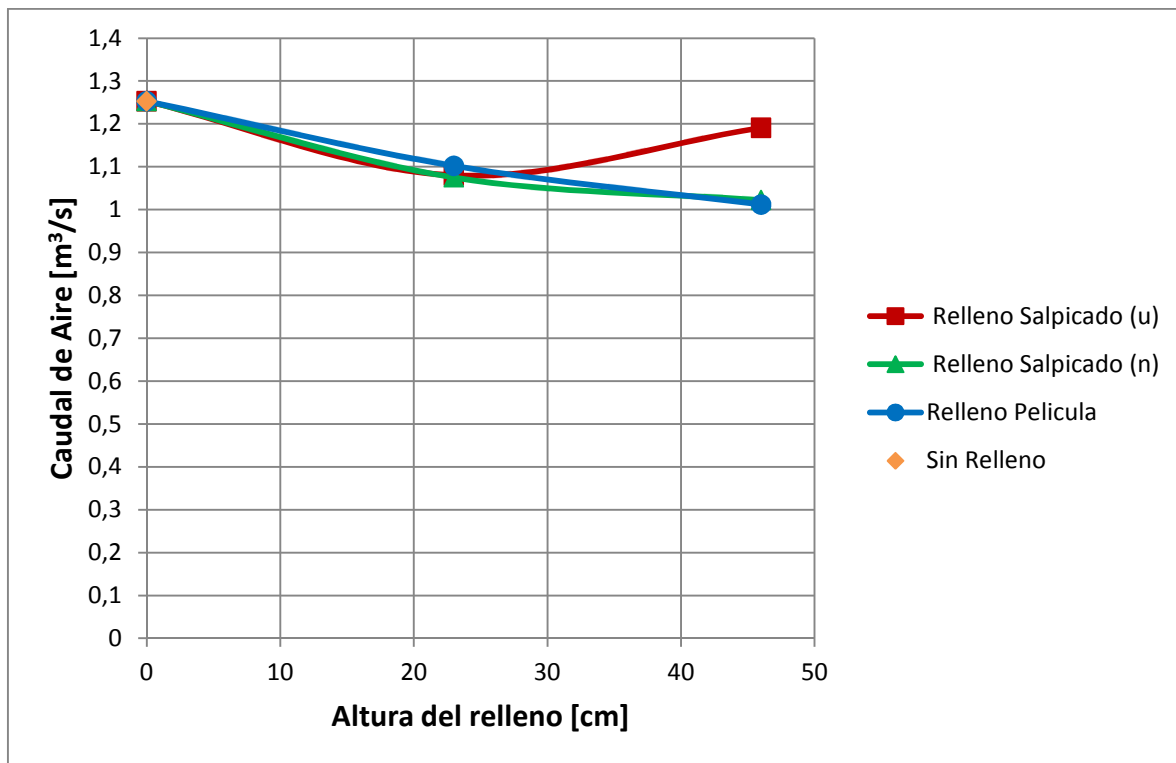


Fig.3.10 – Caudal de aire con 7000 [l/h] de agua en función de la altura del relleno

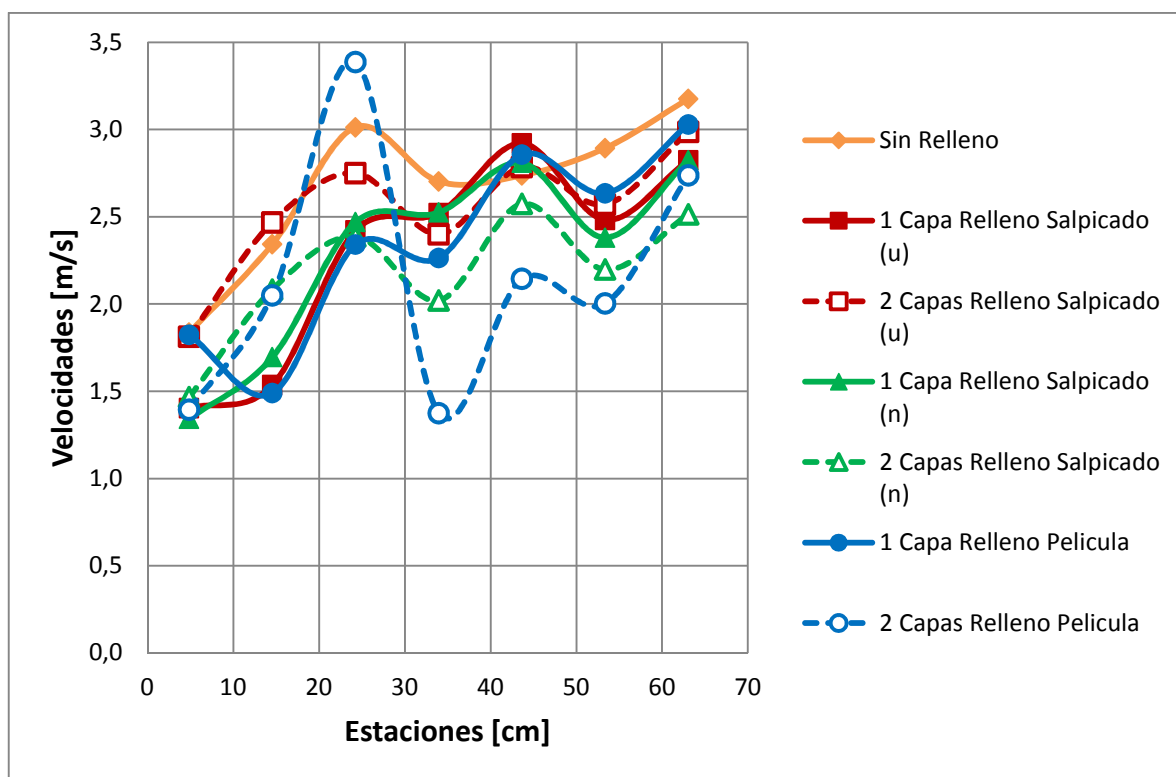


Fig.3.11 – Distribución de velocidades con 7000 [l/h] de agua

### 3.7.4 Resultados con 9000 [l/h] de caudal de agua

Los resultados obtenidos para esta condición de funcionamiento se muestran en *Tabla 3.4*. En el Anexo B se muestran las planillas resumen de estos resultados, y en el Anexo E se muestran los cálculos respectivos. En *Fig.3.12* se muestra la variación del caudal de aire en función de la altura del relleno para todos los rellenos ensayados, y en la *Fig.3.13* la distribución de velocidades correspondiente.

H [cm]	Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]			
	Sin Relleno	Relleno Película	Relleno Salpicado (u)	Relleno Salpicado (n)
0	1,273	1,273	1,273	1,273
23	0	1,085	0,995	1,129
46	0	1,04	1,126	1,054

Tabla 3.4 – Caudal de aire con 9000 [l/h] de agua en función de la altura del relleno

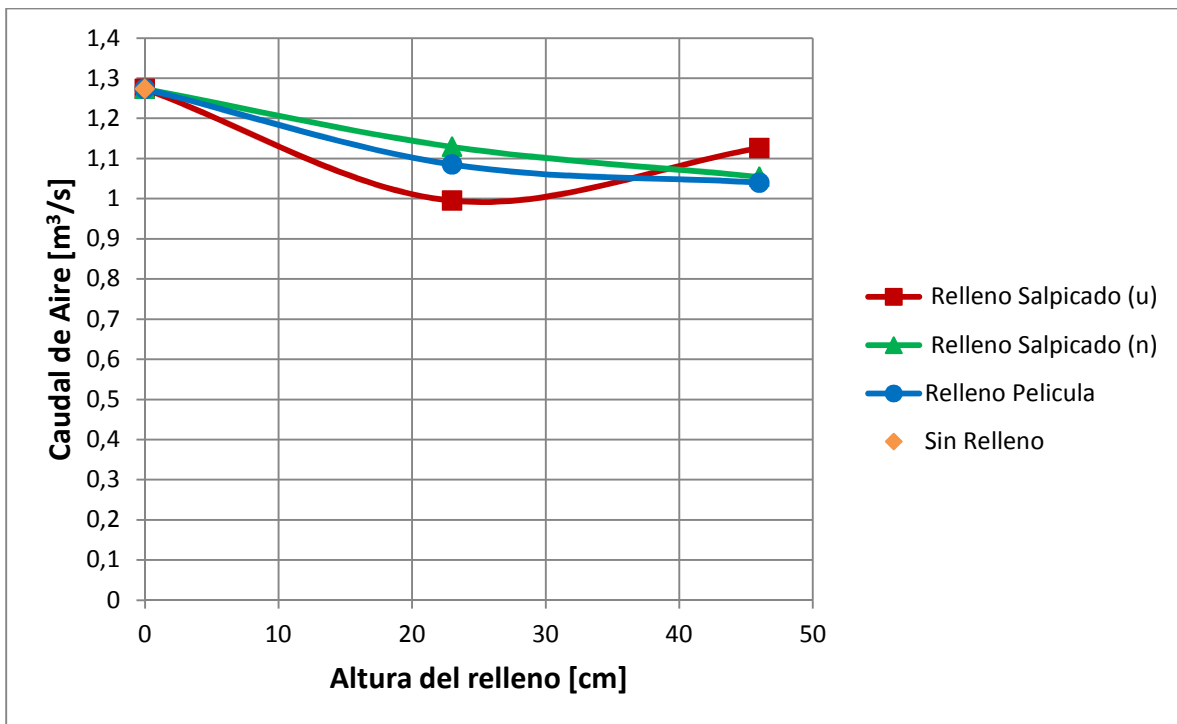


Fig.3.12 – Caudal de aire con 9000 [l/h] de agua en función de la altura del relleno

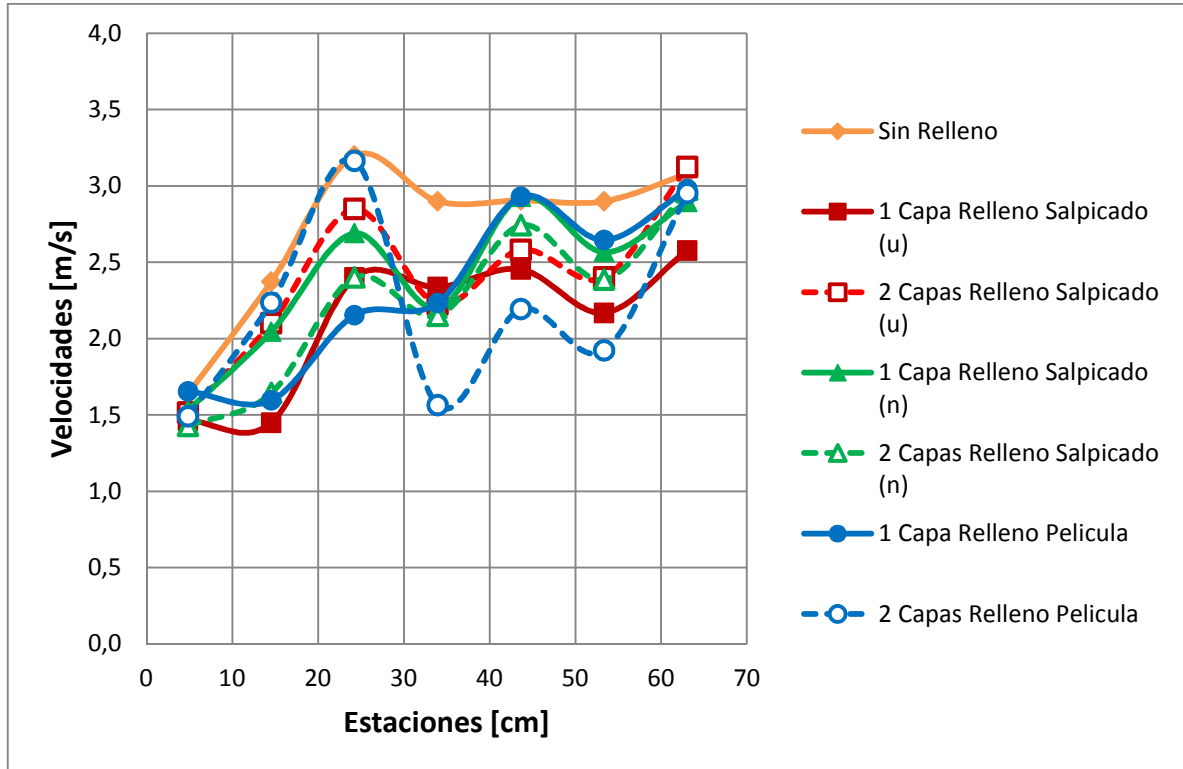


Fig.3.13 – Distribución de velocidades con 9000 [l/h] de agua

### 3.7.5 Resultados con 11000 [l/h] de caudal de agua

Los resultados obtenidos para esta condición de funcionamiento se muestran en *Tabla 3.5*. En el Anexo B se muestran las planillas resumen de estos resultados, y en el Anexo E se muestran los cálculos respectivos. En *Fig.3.14* se muestra la variación del caudal de aire en función de la altura del relleno para todos los rellenos ensayados, y en la *Fig.3.15* la distribución de velocidades correspondiente.

<i>H [cm]</i>	<i>Caudal de Aire [m<sup>3</sup>/s]</i>			
	<i>Sin Relleno</i>	<i>Relleno Película</i>	<i>Relleno Salpicado (u)</i>	<i>Relleno Salpicado (n)</i>
0	1,29	1,29	1,29	1,29
23	0	1,084	1,012	1,14
46	0	0,968	1,089	1,005

Tabla 3.5 – Caudal de aire con 11000 [l/h] de agua en función de la altura del relleno

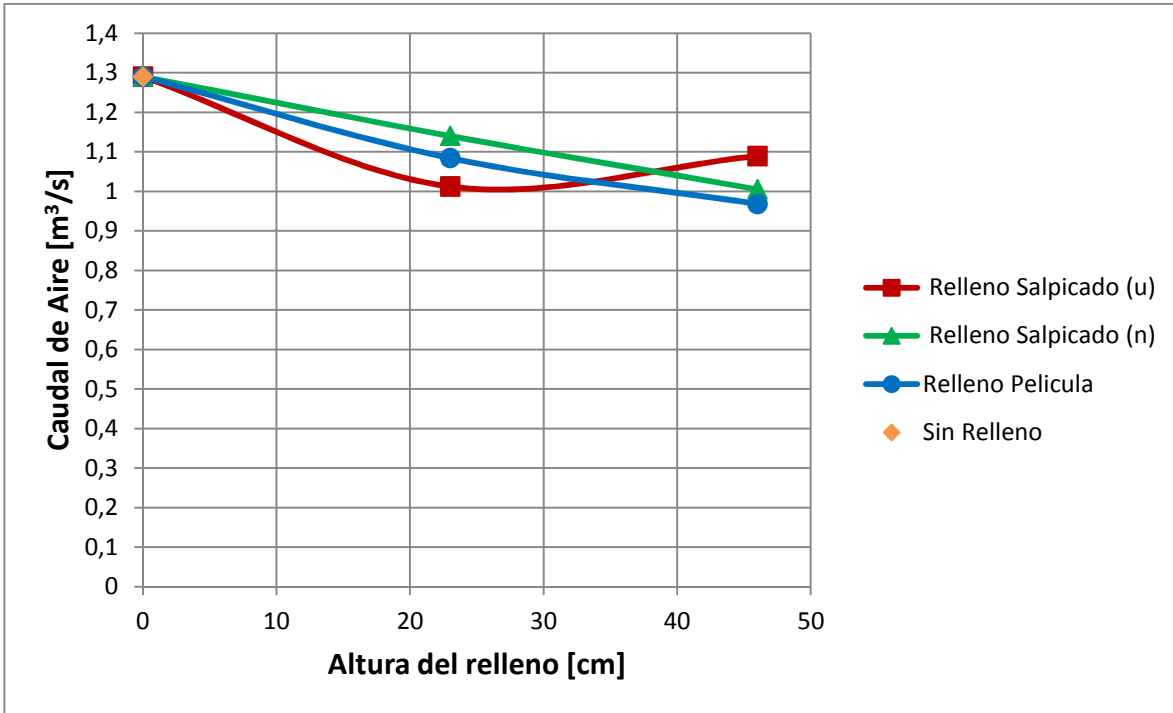


Fig.3.14 – Caudal de aire con 11000 [l/h] de agua en función de la altura del relleno

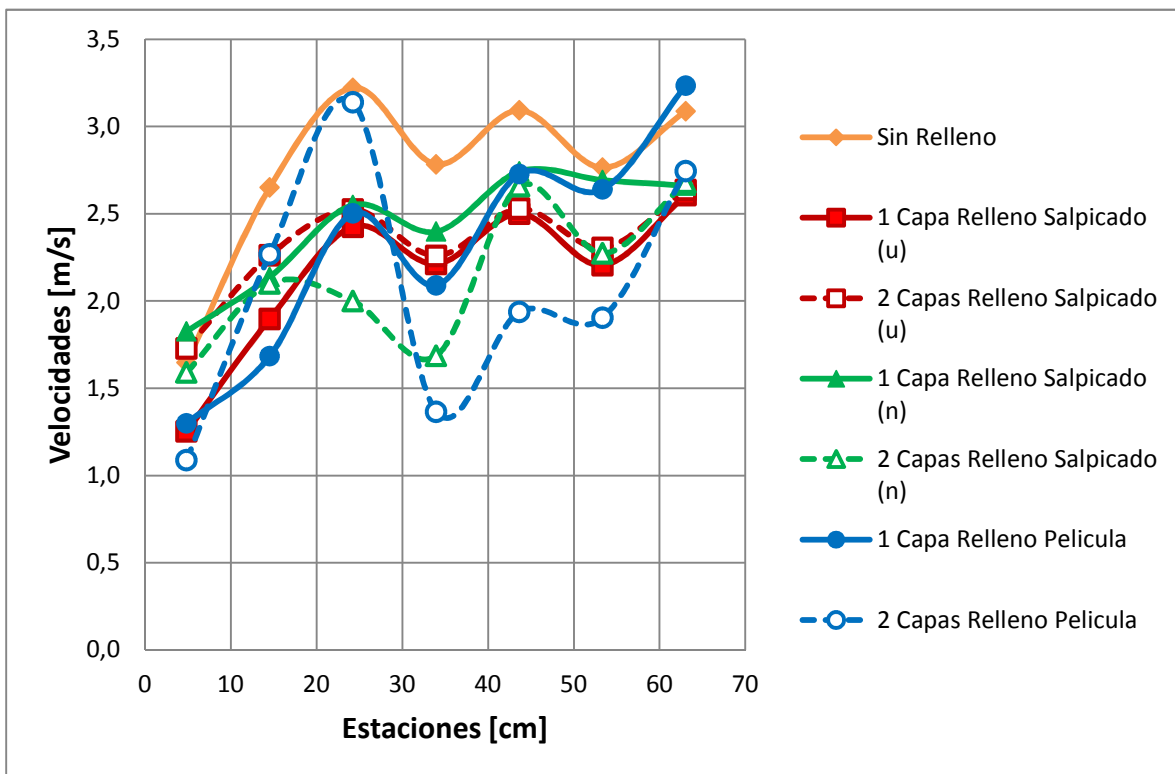


Fig.3.15 – Distribución de velocidades con 11000 [l/h] de agua



### 3.7.6 Caudal de aire en función del caudal de agua

En la Fig.3.16 se muestra la variación del caudal de aire en función del caudal de agua para cada una de las configuraciones de relleno ensayadas.

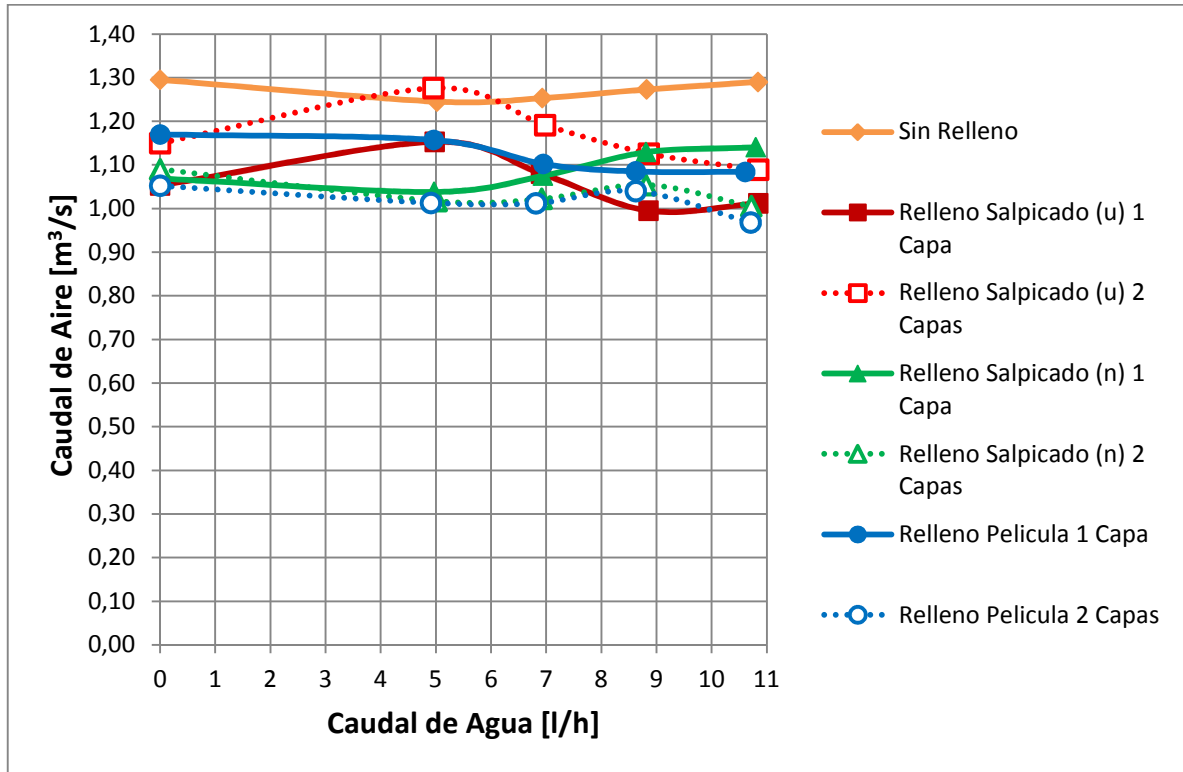


Fig.3.16 – Caudal de aire en función del caudal de agua



## CAPITULO 4

### 4. Programa para el procesamiento de datos de ensayo

#### 4.1 Planteo del problema

El método de procesamiento de datos utilizado en Ref. [1] y Ref. [8], para obtener los resultados de ensayos en torres de enfriamiento de agua, consiste en transferir los datos registrados por el SAD a un libro de trabajo de Excel, que se encarga de ejecutar, mediante funciones precargadas, todos los pasos necesarios para obtener los siguientes parámetros:  $L/G$ ,  $CT$ ,  $QP$ ,  $W_g$ ,  $V_m$ ,  $\Delta P$ , y  $\tau$ . Luego el valor del  $\eta_d$ , para cada punto de toma, se lo calcula con la aplicación *torre*, Ref. [9], cargando los datos manualmente. Por lo mencionado anteriormente se realizó un código de cómputo informático con el objeto de automatizar todo el procesamiento de los valores registrados por el SAD, evitando la carga manual de datos en el libro de trabajo de Excel y la utilización de la aplicación *torre*.

Para el desarrollo del programa se usó Matlab, denominándose al mismo “*torre*”, el cual comienza con la lectura de los valores registrados por el SAD, continúa con el cálculo de los distintos parámetros de la torre, mediante los cuales realiza los correspondientes gráficos, y finaliza con el registro de todos los datos medidos y calculados, en un libro de trabajo de Excel para su mejor lectura. Las subrutinas que componen “*torre*”, y que ejecutan las acciones antes mencionados, están basadas en las tablas de Excel originales, Ref. [1], usadas para el procesamiento de datos antes de la realización de este programa.

#### 4.2 Estructura del programa

El programa fue desarrollado para ser utilizado en los dos tipos de torres de enfriamiento con las cuales cuenta el Laboratorio de Aeronáutica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la UNC, una de tiro inducido y la otra de tiro forzado. La torre de tiro inducido es experimental, cuenta con un motor trifásico y un regulador electrónico de frecuencia para controlar la velocidad del ventilador. Las torres de tiro forzado poseen, generalmente, motores monofásicos, pudiendo desarrollar su ventilador una sola velocidad.

El programa comienza con la carga de los siguientes datos:

- Tipo de torre (tiro inducido o forzado)

- Tipo de ensayo (ensayo sin flujo de agua o con flujo de agua)
- Selección del tipo de relleno (sin relleno, película, salpicado, tubos)
- Numero de capas de relleno

Si el tipo de torre seleccionado es de tiro inducido, el programa pregunta qué cantidad de velocidades son las ensayadas, y no va a preguntar el área de trabajo, ya que esta torre experimental cuenta con dos áreas fijas, el área del conducto circular ( $S1$ ) y el área de la cámara de trabajo ( $S2$ ), cuyos usos son explicados más adelante en este capítulo. Si el tipo de torre seleccionado es de tiro forzado, en lugar de velocidades el programa pregunta que cantidad de caudales de agua son los ensayados, ya que al ser el motor monofásico se cuenta con una sola velocidad, quedando solo el caudal de agua como variable, en este caso al tener varias torres de tiro forzado el programa pregunta cuál es el área de trabajo correspondiente a la torre ensayada. A continuación el programa se divide en dos ramas, dicha división se debe al tipo de ensayo, es decir que una rama corresponde al ensayo sin flujo de agua y la otra corresponde al ensayo con flujo de agua. Si bien los valores que se leen y calculan son prácticamente los mismos para ambos casos, exceptuando ciertos parámetros, se hace esta división principalmente para que se trabaje en distintas carpetas de acuerdo al tipo de ensayo, ubicando los archivos de los datos de ensayo y resultados en la carpeta correspondiente, quedando un proceso más ordenado; en *Fig.4.1* se muestra un esquema del programa. El programa sigue con la lectura de los datos de ensayo, cálculo, registro de resultados y gráficos, *Fig.4.1*, mediante las siguientes subrutinas:

- |                             |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| • Ensayo sin flujo de agua: | • Ensayo con flujo de agua: |
| ○ <i>leerADQUI.</i>         | ○ <i>leerADQUI.</i>         |
| ○ <i>leerdatos.</i>         | ○ <i>leerdatos.</i>         |
| ○ <i>cor_pre.</i>           | ○ <i>cor_pre.</i>           |
| ○ <i>vel1.</i>              | ○ <i>vel2.</i>              |
| ○ <i>res1.</i>              | ○ <i>ensayo.</i>            |
| ○ <i>res_cor_pre1.</i>      | ○ <i>eta_d.</i>             |
| ○ <i>res_vel1.</i>          | ○ <i>res2.</i>              |
| ○ <i>res_res1.</i>          | ○ <i>res_cor_pre2.</i>      |
|                             | ○ <i>res_vel2.</i>          |
|                             | ○ <i>res_en.</i>            |
|                             | ○ <i>res_res2.</i>          |

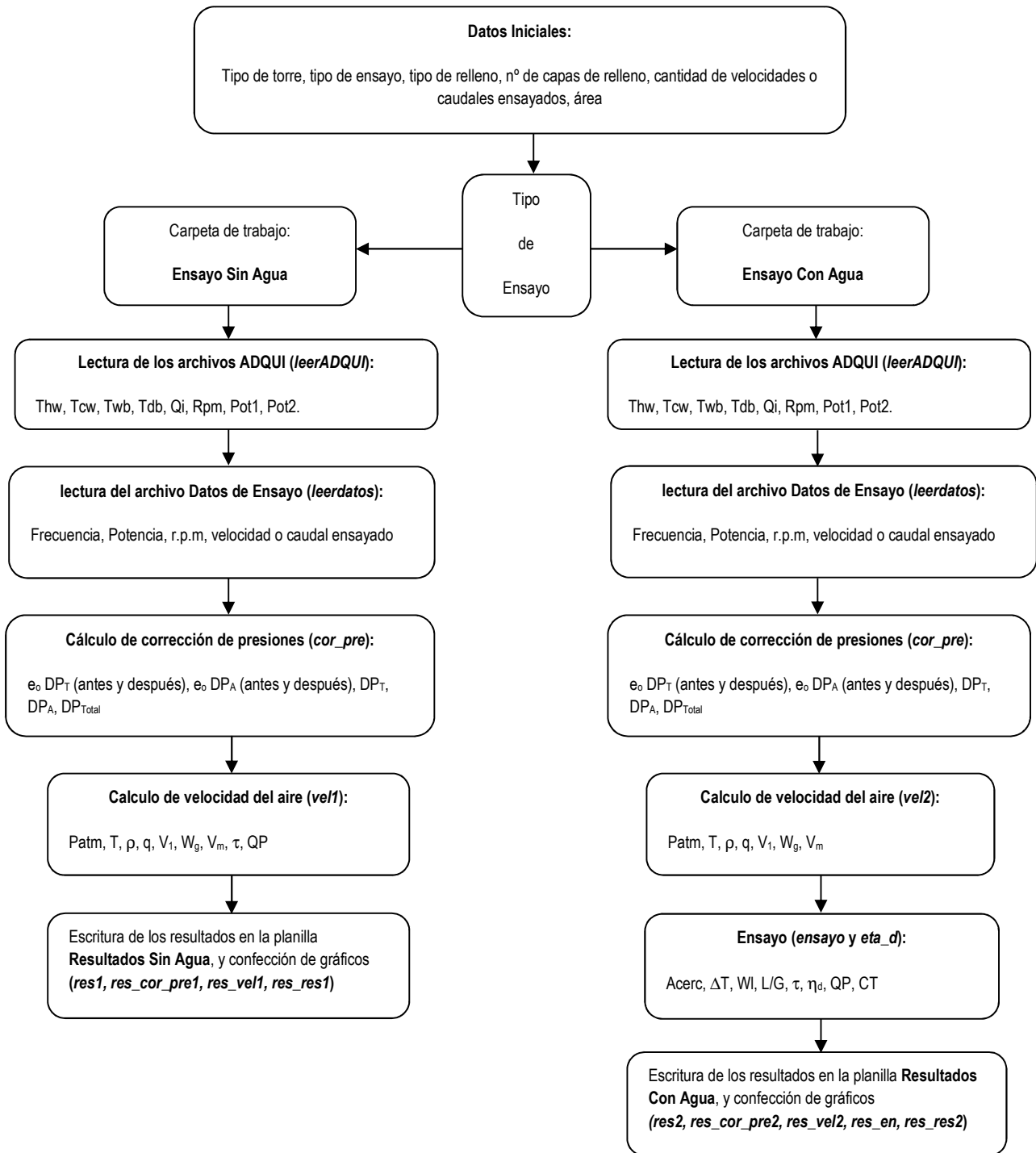


Fig.4.1 – Esquema de la estructura del programa

A continuación se detallan las subrutinas antes mencionadas. Los algoritmos de cada una de ellas, junto con el del programa principal, se encuentran en el Anexo D. En el Anexo A se encuentra el manual de usuario del “torre”.

### 4.2.1 Subrutina “*leerADQUI*”

Los valores registrados por el SAD se almacenan en archivos denominados ADQUI. La subrutina que realiza la lectura de los mismos, para poder procesar los datos posteriormente, se denomina “*leerADQUI*”.

Antes de explicar cómo trabaja esta subrutina es necesario describir los archivos ADQUI. Estos se denominan numéricamente y en forma sucesiva, empezando por el 00. Son abiertos con Excel, y en su interior la señal digital de cada uno de los sensores se graba en columnas distintas, a partir de la celda B6, *Fig.4.2*. La figura mencionada corresponde a un ejemplo de un archivo ADQUI de un ensayo con flujo de agua en la torre de tiro inducido, con 2 capas de relleno salpicado (n), velocidad de 1,4 [m/s] y caudal nominal de 6000 [l/h].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3						Archivo Hist	21/09/2013			
4										
5		Thw	Tcw	Twb	Tdb	Qi	Rpm	Pot1	Pot2	
6	10:51:59	27,22	23,07	7,805	14,955	6,048	16,321	0,156	0,131	
7	10:52:21	27,25	23,16	7,82	14,97	6,037	16,321	0,221	0,151	
8	10:52:43	27,25	23,205	7,79	15,015	6,047	16,321	0,196	0,132	
9	10:53:05	27,25	23,235	7,79	15,0675	6,044	16,323	0,207	0,146	
10	10:53:27	27,235	23,175	7,79	15,08	6,025	16,323	0,21	0,144	
11	10:53:49	27,235	23,115	7,82	15,0375	6,027	16,322	0,2	0,153	
12	10:54:11	27,235	23,01	7,82	14,955	6,029	16,321	0,229	0,141	
13	10:54:33	27,22	23,07	7,82	14,97	6,021	16,322	0,231	0,156	
14	10:54:55	27,19	23,07	7,842	15,015	6,019	16,322	0,224	0,156	
15	10:55:17	27,19	23,085	7,85	15,0675	6,012	16,321	0,226	0,151	
16	10:55:39	27,22	23,07	7,85	15,08	6,036	16,321	0,223	0,157	
17	10:56:01	27,19	23,07	7,85	15,0375	6,028	16,322	0,226	0,147	
18										

*Fig.4.2 – Ejemplo de un archivo ADQUI*

Siendo las columnas:

- A. Tiempo de adquisición de la señal, en horas, minutos y segundos.
- B. Temperatura de agua caliente  $T_{hw}$ , en [°C].
- C. Temperatura de agua fría  $T_{cw}$ , en [°C].
- D. Temperatura de bulbo húmedo  $T_{wb}$ , en [°C].
- E. Temperatura de bulbo seco  $T_{db}$ , en [°C].
- F. Caudal de agua  $Q_i$ , en [mA].
- G. Presión atmosférica  $Rpm$ , en [mA].

- H. Diferencia de presión estática de la torre experimental de tiro inducido (entre la presión atmosférica y la presión estática correspondiente al anillo inferior),  $Pot1$  ( $DP_T$ ), en [mA], Ref. [1].
- I. Diferencia de presión estática entre el anillo inferior y superior de la torre experimental de tiro inducido,  $Pot2$  ( $DP_A$ ), en [mA], Ref. [1].

Las dos últimas columnas corresponden a la torre experimental de tiro inducido.

Para la torre de tiro forzado la presión total referida a la atmosférica ( $\Delta P$ ) no se puede medir simultáneamente con los demás parámetros ( $T_{hw}$ ,  $T_{cw}$ ,  $T_{wb}$ ,  $T_{db}$ ,  $Qi$ , y  $Rpm$ ), ya que dicha medición demora más tiempo que el que tarda en vaciarse el tanque de agua caliente, imposibilitando completar la toma de datos.

En este caso, se decidió primeramente determinar el caudal de aire (Capítulo 3), haciendo recircular agua fría en toda la instalación, a fin de no tener inconvenientes con el tiempo, luego medir  $T_{hw}$ ,  $T_{cw}$ ,  $T_{wb}$ ,  $T_{db}$ ,  $Qi$ , y  $Rpm$  haciendo circular agua caliente proveniente del tanque, y finalmente obtener el  $\Delta P$  usando las ecuaciones 3.1, 3.2, y 3.3, fijando el caudal de aire y calculando la densidad del aire con  $T_{db}$  y  $Rpm$  medidas. El  $\Delta P$  obtenido, para cada configuración de relleno y caudal de agua ensayado, se debe colocar manualmente en la columna H del ADQUI que contiene las correspondientes  $T_{hw}$ ,  $T_{cw}$ ,  $T_{wb}$ ,  $T_{db}$ ,  $Qi$ , y  $Rpm$  medidas, y la columna I se debe llenar con ceros, ya que en este tipo de torres solo se mide una diferencia de presiones.

Para reducir el número de variables con las que trabaja el programa se adopta por convención que cada archivo ADQUI tenga un número fijo de lecturas (filas en la planilla), el cual se establece en 12, ya que se considera que es un número de lecturas adecuado para tomar promedios basándose en trabajos anteriores, Ref. [1]. Otra convención es que a cada velocidad del aire o caudal de agua de ensayo le van a corresponder siempre 4 archivos ADQUI, siendo estos:

1. Error a cero inicial,  $e_o$  (antes).
2. Tiempo necesario para que se estabilicen los parámetros medidos.
3. Mediciones propiamente dichas.
4. Error a cero final,  $e_o$  (después).

Es decir, que si por ejemplo se ensayan 2 velocidades de aire, se tendrán 8 archivos ADQUI; siendo los ADQUI00 al ADQUI03 los correspondientes a la 1<sup>er</sup> velocidad ensayada, y los ADQUI04 al ADQUI07 los correspondientes a la 2<sup>da</sup> velocidad.

Hechas estas aclaraciones, se procede a describir cómo trabaja la subrutina “*leerADQUI*”. La misma crea una matriz “A”, cuya cantidad de filas corresponden al número de lecturas tomadas, 12 en este caso, y cuyo número de columnas depende del número de parámetros medidos por los sensores por la cantidad de caudales o velocidades de aire ensayadas. Siguiendo el ejemplo de 2 velocidades de aire de ensayo, se tendría una matriz “A” de 12 filas y 64 columnas (8 parámetros medidos, por 4 ADQUIs por cada velocidad, por 2 velocidades de ensayo). Esta matriz, mediante el comando “*xlsread*”, se va llenando con los valores medidos de cada uno de los sensores en el mismo orden en que se encuentran en el archivo ADQUI, quedando así en una forma más accesible para que “*torre*” pueda trabajar con ellos.

#### 4.2.2 Subrutina “*leerdatos*”

Con los ADQUI, correspondiente a cada ensayo, se debe llenar el libro de trabajo de Excel “*Datos de Ensayo*”, el cual contiene la información, que no se graba en los ADQUI, necesaria para que “*torre*” pueda completar todos sus pasos. La lectura de este libro se realiza mediante una subrutina denominada “*leerdatos*”, la cual crea cuatro matrices, una para las presiones y temperaturas “*TP*”, otra para las velocidades o caudales “*V*”, otra para la frecuencia, potencia y [r.p.m] “*FPR*”, y otra para los coeficientes de las funciones de transferencia de los sensores de presión diferencial “*CFT*”. Los valores contenidos en estas matrices serán utilizados posteriormente a medida que prosiga el programa.

Este libro de trabajo cuenta con una hoja de cálculo denominada “*coeficientes*”, en la cual se colocan los coeficientes de cada una de las funciones de transferencias de los sensores de presión diferencial (*sensores 1, 2 y 3*, Ref. [1]), usadas para pasar de [mA] a [Pa], *Fig.4.3* y *Fig.4.4*. Las demás hojas de cálculo (variable 1, variable 2, etc.) corresponden a los datos de presión, temperatura, frecuencia, potencia y [r.p.m] medidos para cada uno de los valores que puede tomar la variable del ensayo, *Fig.4.5*; siendo dicha variable la velocidad del aire o el caudal de agua.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>Funcion de Transferencia del Sensor 1, <math>\Delta P_T</math></b>					<b>Funcion de Transferencia del Sensor 2, <math>\Delta P_A</math></b>			
2									
3		$\Delta P_T [Pa] = a1 * \Delta P_T [mA] + b1$				$\Delta P_A [Pa] = a2 * \Delta P_A [mA] + b2$			
4									
5		a1	59,751			a2	59,547		
6		b1	20,607			b2	19,437		
7									
8									
9									
10									

Fig.4.3 – Coeficientes de las funciones de transferencia de los sensores 1 y 2

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	<b>Funcion de Transferencia del Sensor 3, <math>P_{atm}</math></b>					<b>Funcion de Transferencia de Presion Dinamica, q</b>			
2									
3		$P_{atm} [Pa] = a3 * P_{atm} [mA] + b3$				$q [Pa] = a4 * q [mA] + b4$			
4									
5		a3	4322			a4	0,876		
6		b3	26086			b4	0,329		
7									
8									
9									
10									

Fig.4.4 – Coeficientes de las funciones de transferencia del sensor3 y q

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Fecha</b>	21/09/2013		<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Presión [mmHg]</b>	<b>Inicio/Fin</b>	<b>Variable</b>	
2				15	731,15	10:51	1,4	
3				15	731,15	11:13		
4								
5								
6		<b>Archivo</b>	<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Potencia [kW]</b>	<b>r.p.m</b>			
7		adqui22	15,2	0,183	897,6			
8								
9								
10								

Fig.4.5 – Datos medidos para un determinado valor de la variable de ensayo

#### 4.2.3 Subrutina “cor\_pre”

El programa sigue con la corrección de presiones por el error a cero de los valores de  $DP_T$  y  $DP_A$ . La subrutina que realiza esta tarea se denomina “cor\_pre”. La misma ejecuta, para cada velocidad o caudal de agua ensayado, los siguientes pasos:

1. Selecciona las columnas de la matriz “A” correspondientes a  $e_0$  (antes y después) del  $DP_T$ ,  $e_0$  (antes y después) del  $DP_A$ , mediciones propiamente dichas de  $DP_T$ , y  $DP_A$ , Fig.4.6.
2. Pasa los valores anteriores de [mA] a [Pa], Fig.4.7, mediante los coeficientes de las funciones de transferencia de los sensores, Fig.4.8, que se obtienen de la matriz “CFT”.
3. Corrige cada diferencia de presión por su error a cero correspondiente, Fig.4.9, siendo este error a cero un promedio de todas las lecturas de esa columna.

Los resultados de los procedimientos ejecutados en estos pasos se almacenan en una matriz que se llama “CP”, cuya dimensión depende del número de ensayos realizados. En otra matriz denominada “P”, se guardan los valores promedios de cada uno de los parámetros contenidos en “CP”. La matriz “P” tiene una sola fila, y la cantidad de columnas depende del número de ensayos realizados.

Las Fig.4.6 a Fig.4.9 muestran de una manera práctica las distintas acciones de esta subrutina, siguiendo el orden de los pasos anteriormente descritos, y observándose que en cada columna se indica el procedimiento de lectura o cálculo realizado. Estas figuras corresponden a un ejemplo de un ensayo con flujo de agua en la torre de tiro inducido, con 2 capas de relleno salpicado (n), velocidad de 1,4 [m/s] y caudal nominal de 6000 [l/h], y se obtienen de la hoja de cálculo *corrección de presiones* del libro de trabajo *Resultados Con Agua*, que fue generada con la subrutina “res\_cor\_pre2” para este ejemplo.

Velocidad [m/s]	Nº	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		$e_0 DP_T$ (antes)	$e_0 DP_A$ (antes)	$e_0 DP_T$ (despues)	$e_0 DP_A$ (despues)	$DP_T$	$DP_A$
		[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
		Leído	Leído	Leído	Leído	Leído	Leído
1,40	1	-0,338	-0,082	-0,342	-0,082	0,156	0,131
	2	-0,338	-0,082	-0,338	-0,082	0,221	0,151
	3	-0,338	-0,082	-0,342	-0,083	0,196	0,132
	4	-0,340	-0,080	-0,338	-0,082	0,207	0,146
	5	-0,339	-0,083	-0,341	-0,083	0,210	0,144
	6	-0,338	-0,082	-0,34	-0,083	0,200	0,153
	7	-0,338	-0,082	-0,342	-0,082	0,229	0,141
	8	-0,338	-0,082	-0,338	-0,082	0,231	0,156
	9	-0,338	-0,082	-0,342	-0,083	0,224	0,156
	10	-0,34	-0,08	-0,338	-0,082	0,226	0,151
	11	-0,339	-0,083	-0,341	-0,083	0,223	0,157
	12	-0,338	-0,082	-0,34	-0,083	0,226	0,147
	Promedios	-0,33850	-0,08183	-0,34017	-0,08250	0,21242	0,14708

Fig.4.6 – Errores a cero y diferencias de presiones medidas en [mA]

(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
$e_0 DP_T$ (antes)	$e_0 DP_A$ (antes)	$e_0 DP_T$ (despues)	$e_0 DP_A$ (despues)	$DP_T$	$DP_A$
[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
$a1 * (1) + b1$	$a2 * (2) + b2$	$a1 * (3) + b1$	$a2 * (4) + b2$	$a1 * (5) + b1$	$a2 * (6) + b2$
0,411	14,554	0,172	14,554	29,928	27,238
0,411	14,554	0,411	14,554	33,812	28,429
0,411	14,554	0,172	14,495	32,318	27,297
0,292	14,673	0,411	14,554	32,975	28,131
0,351	14,495	0,232	14,495	33,155	28,012
0,411	14,554	0,292	14,495	32,557	28,548
0,411	14,554	0,172	14,554	34,290	27,833
0,411	14,554	0,411	14,554	34,409	28,726
0,411	14,554	0,172	14,495	33,991	28,726
0,292	14,673	0,411	14,554	34,111	28,429
0,351	14,495	0,232	14,495	33,931	28,786
0,411	14,554	0,292	14,495	34,111	28,190
0,38129	14,56407	0,28170	14,52437	33,29911	28,19537

Fig.4.7 – Errores a cero y diferencias de presiones convertidas a [Pa]

	Sensor 1	Sensor 2
<b>a</b>	59,751	59,547
<b>b</b>	20,607	19,437

Fig.4.8 – Coeficientes de las funciones de transferencia de los sensores 1 y 2

(13)	(14)	(15)
$DP_T$	$DP_A$	$DP_{Total}$
[Pa]	[Pa]	[Pa]
Corregido	Corregido	
$\frac{(11)-Prom(7)+Prom(9)}{2}$	$\frac{(12)-Prom(8)+Prom(10)}{2}$	$(14)-(13)$
-29,597	12,693	-42,290
-33,480	13,884	-47,365
-31,987	12,753	-44,740
-32,644	13,587	-46,231
-32,823	13,468	-46,291
-32,226	14,003	-46,229
-33,958	13,289	-47,247
-34,078	14,182	-48,260
-33,660	14,182	-47,842
-33,779	13,884	-47,664
-33,600	14,242	-47,842
-33,779	13,646	-47,425
-32,968	13,651	-46,619

Fig.4.9 – Corrección de cada diferencia de presión por su error a cero correspondiente

#### 4.2.4 Subrutinas “vel1” y “vel2”

Luego de la corrección de presiones el programa continúa con el cálculo de la velocidad del aire. La subrutina que lleva a cabo esta tarea se denomina “vel1” para el caso de ensayo sin

flujo de agua, y “*vel2*” para el caso de ensayo con flujo de agua. A partir de este punto se nota la diferencia antes mencionada entre los ensayos realizados sin o con flujo de agua. Cuando el ensayo es sin flujo de agua “*vel1*” ejecuta, para cada velocidad o caudal de agua ensayado, los siguientes pasos:

1. Selecciona las columnas de la matriz “*A*” correspondientes a la  $P_{atm}$  y temperatura medidas, *Fig.4.10*.
2. Convierte los valores anteriores a unidades del sistema internacional, *Fig.4.10*.
3. Calcula la densidad del aire mediante la ecuación de estado, *Fig.4.10*.
4. Selecciona las columnas de la matriz “*CP*” que contienen los valores de  $DP_A$  corregidos (para la torre de tiro inducido), o de  $DP_T$  corregidos (para la torre de tiro forzado), *Fig.4.12*.
5. Determina la presión dinámica usando los datos del paso anterior y los coeficientes de la función de transferencia de  $q$ , *Fig.4.11* y *Fig.4.12*.
6. Calcula la velocidad del aire en la sección circular (para la torre de tiro inducido), o velocidad media (para la torre de tiro forzado), empleando la presión dinámica y la densidad del aire, *Fig.4.12*.
7. Obtiene el caudal de aire usando el área (del conducto circular para la torre de tiro inducido, o de trabajo para la torre de tiro forzado), y la velocidad, *Fig.4.12*.
8. Determina la velocidad media dividiendo el caudal de aire en el área de trabajo, *Fig.4.12*.
9. Calcula el coeficiente de pérdida de carga  $\tau$ , Ref. [1], con los valores de  $DP_T$ , densidad del aire, y velocidad media, *Fig.4.13*.
10. Obtiene el parámetro de calidad electro-fluido dinámico  $QP$  (parámetro que cuantifica el proceso de transformación de energía eléctrica en cinética), Ref. [1], usando los datos de las potencias medidas, que se encuentran en la matriz “*FPR*”, el área de trabajo, la densidad del aire, y el caudal de aire, *Fig.4.13*.

Para el caso de ensayos realizados con flujo de agua, la subrutina “*vel2*” realiza los mismos pasos que la “*vel1*”, exceptuando los cálculos de  $\tau$  y  $QP$ , ya que estos se obtienen con la subrutina “*ensayo*”.

Los resultados de los procedimientos ejecutados en estos pasos se almacenan en una matriz que se llama “*VEL1*” (para la torre de tiro inducido), o “*VEL2*” (para la torre de tiro forzado),

cuya dimensión depende del número de ensayos realizados. En otra matriz denominada “Pv”, se guardan los valores promedios de cada uno de los parámetros contenidos en “VEL1” o “VEL2”, dependiendo del tipo de torre con la que se trabaje. La matriz “Pv” tiene una sola fila, y la cantidad de columnas depende del número de ensayos realizados.

Las Fig.4.10 a Fig.4.13 muestran de una manera práctica las distintas acciones de esta subrutina, siguiendo el orden de los pasos anteriormente descritos, y observándose que en cada columna se indica el procedimiento de lectura o cálculo realizado. Estas figuras corresponden a un ejemplo de un ensayo sin flujo de agua en la torre de tiro inducido con 2 capas de relleno salpicado (n), velocidad de 1,4 [m/s], y se obtienen de la hoja de cálculo *velocidad del aire sin agua* del libro de trabajo *Resultados Sin Agua*, que fue generada con la subrutina “res\_vell” para este ejemplo.

Velocidad [m/s]	Nº	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		Patm	t	Patm	T	ρ
		[mA]	[°C]	[Pa]	[K]	[kg/m <sup>3</sup> ]
		Leído	Leído	a3*(1) + b3	(2) + 273,15	$\frac{(3)}{R * (4)}$
1,4	1	16,388	14,635	96914,936	287,785	1,173
	2	16,388	14,63	96914,936	287,780	1,173
	3	16,389	14,6375	96919,258	287,788	1,173
	4	16,388	14,66	96914,936	287,810	1,173
	5	16,388	14,68	96914,936	287,830	1,173
	6	16,389	14,749	96919,258	287,899	1,172
	7	16,389	14,775	96919,258	287,925	1,172
	8	16,389	14,7825	96919,258	287,933	1,172
	9	16,389	14,82	96919,258	287,970	1,172
	10	16,389	14,835	96919,258	287,985	1,172
	11	16,389	14,821	96919,258	287,971	1,172
	12	16,389	14,8107	96919,258	287,961	1,172
	Promedios	16,38867	14,736	96917,817	287,886	1,172

Fig.4.10 – P<sub>atm</sub> y temperatura medidas usadas para calcular la densidad

	Sensor 3	Presion Dinamica
<b>a</b>	4322	0,876
<b>b</b>	26086	0,329

Fig.4.11 – Coeficientes de la función de transferencia del sensor 3 y q

(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
DP <sub>A</sub>	q	V <sub>1</sub>	Wg	V <sub>m</sub>
[Pa]	[Pa]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]
Calculado	a4 * (6) + b4	(2* (7)/(5)) <sup>1/2</sup>	(8) * S <sub>1</sub>	$\frac{(9)}{S_2}$
13,636	12,274	4,575	0,728	1,404
14,113	12,692	4,652	0,740	1,427
13,994	12,587	4,633	0,737	1,421
14,053	12,640	4,643	0,738	1,424
14,113	12,692	4,653	0,740	1,427
13,815	12,431	4,605	0,732	1,413
13,994	12,587	4,634	0,737	1,422
14,113	12,692	4,653	0,740	1,428
14,053	12,640	4,644	0,739	1,425
14,053	12,640	4,644	0,739	1,425
14,053	12,640	4,644	0,739	1,425
14,053	12,640	4,644	0,739	1,425
14,003	12,596	4,636	0,737	1,422

Fig.4.12 – Determinación de velocidades y caudal de aire

(11)	(12)	(13)
τ	W	QP
[-----]	[Kw]	[---]
$\frac{2 * DP_{\tau}}{(5) * (10)^2}$	Leido	$\frac{(12) * 1000 * S_2^2}{0,5 * (5) * (9)^3}$
17,158	0,164	195,081
16,393	0,164	185,541
16,580	0,164	187,854
16,712	0,164	186,681
16,193	0,164	185,525
16,942	0,164	191,376
16,580	0,164	187,809
16,543	0,164	185,496
16,612	0,164	186,633
16,612	0,164	186,629
16,612	0,164	186,633
16,612	0,164	186,636
16,629	0,164	187,658

Fig.4.13 – Calculo de τ y QP

#### 4.2.5 Subrutina “ensayo”

Para el caso del ensayo con flujo de agua se tiene una subrutina llamada “ensayo”, la cual determina los parámetros  $L/G$ ,  $\tau$ ,  $QP$ ,  $CT$ , y almacena los datos para el caculo del  $\eta_a$ .

Para cada velocidad o caudal de agua ensayado esta subrutina ejecuta los siguientes pasos:

1. Selecciona las columnas de la matriz “VEL2” correspondientes a  $P_{atm}$  convertida a [Pa], Fig.4.14.
2. Selecciona las columnas de la matriz “A” correspondientes a las temperaturas de agua caliente, agua fría, bulbo húmedo y bulbo seco, Fig.4.14.
3. Obtiene el acercamiento (*Acerc*) con las temperaturas de agua fría y bulbo húmedo, Fig.4.15.
4. Determina el  $\Delta T$  con las temperaturas de agua caliente y agua fría, Fig.4.15.
5. Selecciona las columnas de la matriz “A” correspondientes al caudal de agua medido, que se encuentra en [m<sup>3</sup>/h], y lo convierte a [l/h], Fig.4.15.
6. Selecciona las columnas de la matriz “VEL2” correspondientes al caudal de aire y la velocidad media calculados, Fig.4.15.
7. Selecciona las columnas de la matriz “VEL2” correspondientes a la densidad del aire calculada, Fig.4.16,
8. Calcula la relación entre la masa líquida y la masa del aire  $L/G$ , Fig.4.16.
9. Obtiene el  $\tau$  y el  $QP$  de manera similar a lo explicado en el punto 4.2.4, Fig.4.16.
10. Determina el  $CT$ , también llamado carga de agua, Ref. [1], mediante la división del caudal de aire por el área de trabajo, Fig.4.16.

Los resultados de los procedimientos ejecutados en estos pasos se almacenan en una matriz que se llama “E”, cuya dimensión depende del número de ensayos realizados. En otra matriz denominada “Pe”, se guardan los valores promedios de cada uno de los parámetros contenidos en “E”. La matriz “Pe” tiene una sola fila, y la cantidad de columnas depende del número de ensayos realizados.

Las Fig.4.14 a Fig.4.16 muestran de una manera práctica las distintas acciones de esta subrutina, siguiendo el orden de los pasos anteriormente descritos, y observándose que en cada columna se indica el procedimiento de lectura o cálculo realizado. Estas figuras corresponden a un ejemplo de un ensayo con flujo de agua en la torre de tiro inducido, con 2 capas de relleno salpicado (n), velocidad de 1,4 [m/s] y caudal nominal de 6000 [l/h], y se obtienen de la hoja de cálculo *Ensayo* del libro de trabajo *Resultados Con Agua*, que fue generada con la subrutina “res\_en” para este ejemplo.

Velocidad [m/s]	Nº	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		Patm	Thw	Tcw	Twb	Tdb
		[Pa]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
			Leído	Leído	Leído	Leído
1,40	1	96625,362	27,220	23,070	7,805	14,955
	2	96625,362	27,250	23,160	7,820	14,970
	3	96625,362	27,250	23,205	7,790	15,015
	4	96634,006	27,250	23,235	7,790	15,068
	5	96634,006	27,235	23,175	7,790	15,080
	6	96629,684	27,235	23,115	7,820	15,038
	7	96625,362	27,235	23,010	7,820	14,955
	8	96629,684	27,220	23,070	7,820	14,970
	9	96629,684	27,190	23,070	7,842	15,015
	10	96625,362	27,190	23,085	7,850	15,068
	11	96625,362	27,220	23,070	7,850	15,080
	12	96629,684	27,190	23,070	7,850	15,038
	Promedios	96628,243	27,224	23,111	7,821	15,021

Fig.4.14 – Lectura de  $P_{atm}$  y temperaturas

(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Acerc	$\Delta T$	WI	WI	Wg	$V_m$
[°C]	[°C]	[m <sup>3</sup> / hr]	[l / hr]	[m <sup>3</sup> / s]	[m/s]
(3) - (4)	(2) - (3)	Leído	(8) * 1000	Calculado	Calculado
15,265	4,150	6,048	6048	0,704	1,358
15,340	4,090	6,037	6037	0,736	1,419
15,415	4,045	6,047	6047	0,706	1,362
15,445	4,015	6,044	6044	0,728	1,404
15,385	4,060	6,025	6025	0,725	1,398
15,295	4,120	6,027	6027	0,739	1,425
15,190	4,225	6,029	6029	0,720	1,389
15,250	4,150	6,021	6021	0,743	1,434
15,228	4,120	6,019	6019	0,743	1,434
15,235	4,105	6,012	6012	0,736	1,419
15,220	4,150	6,036	6036	0,745	1,437
15,220	4,120	6,028	6028	0,730	1,407
15,291	4,113	6,031	6031,08	0,729	1,407

Fig.4.15 – Calculo del acercamiento,  $\Delta T$ , caudal de aire, velocidad media, y lectura del caudal de agua



(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
$\rho$	L / G	$\tau$	$\eta_d$	W	QP	CT
[Kg/m <sup>3</sup> ]	[---]	[---]	[---]	[Kw]	[---]	[m/h]
Calculado	$\frac{(9)}{3600}$ $(10) * (12)$	$\frac{2 * DP_{\tau}}{(12) * (11)^2}$		Leído	$\frac{(16) * 1000 * S_2^2}{0,5 * (12) * (10)^3}$	$\frac{(8)}{S_2}$
1,168	2,043	27,466	0,482	0,183	241,163	11,667
1,168	1,952	28,475	0,457	0,183	211,586	11,645
1,168	2,038	29,549	0,458	0,183	239,499	11,665
1,168	1,975	28,356	0,445	0,183	218,362	11,659
1,168	1,978	28,757	0,454	0,183	221,182	11,622
1,168	1,941	27,181	0,462	0,183	208,943	11,626
1,168	1,991	30,141	0,490	0,183	225,572	11,630
1,168	1,927	28,391	0,467	0,183	205,133	11,615
1,168	1,926	28,042	0,464	0,183	205,117	11,611
1,167	1,944	28,730	0,463	0,183	211,550	11,597
1,167	1,928	27,879	0,468	0,183	203,837	11,644
1,168	1,966	29,218	0,469	0,183	216,979	11,628
1,168	1,967	28,515	0,465	0,183	217,410	11,634

Fig.4.16 – Cálculo de L/G,  $\tau$ ,  $\eta_d$ , QP y CT

#### 4.2.6 Subrutina “eta\_d”

El área encerrada entre la curva de saturación  $i_L (T_L)$  y la línea de operación  $i_g (T_L)$ , cuyos vértices son A, B', B y H, Fig.1.11, es indicativa del potencial que promueve la transferencia de calor total entre el agua y el aire, Ref. [1].

La integración de la ecuación (1.1) permite obtener el número de unidades de difusión  $\eta_d$  necesario para producir el cambio en la temperatura del agua. El  $\eta_d$  que se obtiene integrando, representa la inversa del área encerrada por la línea de operación y la curva de saturación del aire, para un determinado valor de la presión ambiente. El área depende de: la relación de los flujos másicos agua/aire L/G, las temperaturas de agua caliente, agua fría, y bulbo húmedo del aire a la entrada.

Con el fin de obtener el  $\eta_d$ , el CTI propone el método de integración numérica de Tchebycheff de cuatro puntos, ecuación (4.1), para la resolución de la ecuación (1.1), Ref. [1], Ref. [5].

$$\int_a^b y \cdot dx = \frac{(b-a)}{4} \cdot (y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \quad (4.1)$$

Dónde:

$y_1$  es el valor de y para  $x = a + 0,1 \cdot (b - a)$

$y_2$  es el valor de y para  $x = a + 0,4 \cdot (b - a)$

$y_3$  es el valor de y para  $x = b - 0,4 \cdot (b - a)$

$y_4$  es el valor de y para  $x = b - 0,1 \cdot (b - a)$

Aplicada en la ecuación (1.1) resulta:

$$\eta_d = \frac{(T_{hw} - T_{cw})}{4} \cdot \left( \frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} + \frac{1}{e_3} + \frac{1}{e_4} \right) \quad (4.2)$$

Dónde:

$e_1$  es el valor de  $(i_L - i_g)$  para  $T = T_{cw} + 0,1 \cdot (T_{hw} - T_{cw})$

$e_2$  es el valor de  $(i_L - i_g)$  para  $T = T_{cw} + 0,4 \cdot (T_{hw} - T_{cw})$

$e_3$  es el valor de  $(i_L - i_g)$  para  $T = T_{hw} - 0,4 \cdot (T_{hw} - T_{cw})$

$e_4$  es el valor de  $(i_L - i_g)$  para  $T = T_{hw} - 0,1 \cdot (T_{hw} - T_{cw})$

El método antes descrito es implementado mediante una subrutina denominada “*eta\_d*”, la cual ejecuta los siguientes pasos:

- 1) Define las constantes, que son el calor específico del agua  $C_L$ , y el calor específico del aire  $C_{pa}$ .
- 2) Lee los valores de las características constantes del vapor de agua, almacenados en la matriz “VA”, ubicada en esta misma subrutina. Estos datos se obtienen de Ref. [11].
- 3) Arma el polinomio interpolador de 3<sup>er</sup> grado  $p1$ , mediante el comando “*polyfit*”, con los valores de temperatura de bulbo seco  $Tdb_{psi}$ , y entalpia de vapor de agua saturado  $hgs_{psi}$ , obtenidos de “VA”.
- 4) Arma el polinomio interpolador de 3<sup>er</sup> grado  $p2$ , mediante el comando “*polyfit*”, con los valores de temperatura de bulbo seco  $Tdb_{psi}$ , y presión de vapor saturado  $pgs_{psi}$ , obtenidos de “VA”.
- 5) Selecciona las columnas de la matriz “E” correspondientes a los datos de presión atmosférica, temperatura de agua caliente, temperatura de agua fría, temperatura de bulbo húmedo, acercamiento, salto térmico y relación L/G.
- 6) Calcula la entalpia de aire saturado a la temperatura de bulbo húmedo.
  - a) Obtiene la entalpia de vapor de agua saturado  $hgs_{Twb}$ , evaluando el polinomio interpolador  $p1$  en la  $T_{wb}$  mediante el comando “*polyval*”, ecuación (4.3).

$$hgs_{Twb} = p1(T_{wb}) \quad (4.3)$$

- b) Determina la presión de vapor de agua saturado  $pgs_{T_{wb}}$ , evaluando el polinomio interpolador  $p2$  en la  $T_{wb}$  mediante el comando “polyval”, ecuación (4.4).

$$pgs_{T_{wb}} = p2(T_{wb}) \quad (4.4)$$

- c) Calcula la humedad relativa  $\omega_{T_{wb}}$ , ecuación (4.5), Ref. [9].

$$\omega_{T_{wb}} = 0,622 \cdot \frac{pgs_{T_{wb}}}{P_{atm} - pgs_{T_{wb}}} \quad (4.5)$$

- d) Calcula la entalpia de aire saturado  $hms_{T_{wb}}$ , ecuación (4.6), Ref. [9].

$$hms_{T_{wb}} = Cpa \cdot T_{wb} + hgs_{T_{wb}} \cdot \omega_{T_{wb}} \quad (4.6)$$

- 7) Calcula la entalpia de aire saturado a la temperatura de agua caliente.

- a) Obtiene la entalpia de vapor de agua saturado  $hgs_{T_{hw}}$ , evaluando el polinomio interpolador  $p1$  en la  $T_{hw}$  mediante el comando “polyval”, ecuación (4.7).

$$hgs_{T_{hw}} = p1(T_{hw}) \quad (4.7)$$

- b) Determina la presión de vapor de agua saturado  $pgs_{T_{hw}}$ , evaluando el polinomio interpolador  $p2$  en la  $T_{hw}$  mediante el comando “polyval”, ecuación (4.8).

$$pgs_{T_{hw}} = p2(T_{hw}) \quad (4.8)$$

- c) Calcula la humedad relativa  $\omega_{T_{hw}}$ , ecuación (4.9).

$$\omega_{T_{hw}} = 0,622 \cdot \frac{pgs_{T_{hw}}}{P_{atm} - pgs_{T_{hw}}} \quad (4.9)$$

- d) Calcula la entalpia de aire saturado  $hms_{T_{hw}}$ , ecuación (4.10).

$$hms_{T_{hw}} = Cpa \cdot T_{hw} + hgs_{T_{hw}} \cdot \omega_{T_{hw}} \quad (4.10)$$

8) Obtiene el valor máximo de  $L/G$ , ecuación (4.11), Ref. [1].

$$\frac{L}{G} = \frac{di_g}{C_L \cdot dT_L} \Rightarrow \left(\frac{L}{G}\right)_{max} = \frac{hms_{T_{hw}} - hms_{T_{wb}}}{C_L \cdot (T_{hw} - T_{wb})} \quad (4.11)$$

9) Comprueba que el valor de  $L/G$  leído en el paso “5” sea menor que el  $L/G$  máximo calculado en el paso “8”, porque se debe operar con una relación  $L/G$  menor que la máxima correspondiente a las condiciones de funcionamiento especificadas, Ref. [1].

10) Implementa el método de integración numérica de Tchebycheff de 4 puntos, Ref. [10].

a) Calcula las temperaturas para poder aplicar el método.

$$T_1 = T_{cw} + 0,1 \cdot (T_{hw} - T_{cw})$$

$$T_2 = T_{cw} + 0,4 \cdot (T_{hw} - T_{cw})$$

$$T_3 = T_{hw} - 0,4 \cdot (T_{hw} - T_{cw})$$

$$T_4 = T_{hw} - 0,1 \cdot (T_{hw} - T_{cw})$$

b) Determina el coeficiente de la formula integral de Tchebycheff, ecuación (4.12).

$$coef = \frac{(b - a)}{4} = \frac{(T_{hw} - T_{cw})}{4} \quad (4.12)$$

c) Obtiene las entalpias de vapor de agua saturado  $hgs_i$ , evaluando el polinomio interpolador  $p1$  en cada una de las temperaturas del punto “a” mediante el comando “polyval”, ecuación (4.13).

$$hgs_i = p1(T_i) |_{i=1,2,3,4} \quad (4.13)$$

- d) Determina las presiones de vapor de agua saturado  $pgs_i$ , evaluando el polinomio interpolador  $p2$  en cada una de las temperaturas del punto “a” mediante el comando “polyval”, ecuación (4.14).

$$pgs_i = p2(T_i) \Big|_{i=1,2,3,4} \quad (4.14)$$

- e) Calcula las humedades relativas  $\omega_i$ , correspondientes a cada una de las temperaturas del punto “a”, ecuación (4.15).

$$\omega_i = 0,622 \cdot \frac{pgs_i}{P_{atm} - pgs_i} \Big|_{i=1,2,3,4} \quad (4.15)$$

- f) Calcula las entalpías de aire saturado  $hms_i$ , correspondientes a cada una de las temperaturas del punto “a”, ecuación (4.16).

$$hms_i = Cpa \cdot T_i + hgs_i \cdot \omega_i \Big|_{i=1,2,3,4} \quad (4.16)$$

- g) Calcula las entalpías de la línea de operación del aire  $hmg_i$ , correspondientes a cada una de las temperaturas del punto “a”, ecuación (4.17), Ref. [1].

$$hmg_i = hms_{T_{wb}} + C_L \cdot \frac{L}{G} \cdot (T_i - T_{cw}) \Big|_{i=1,2,3,4} \quad (4.17)$$

- h) Determina la suma de los valores inversos de diferencias de entalpías, ecuación (4.18).

$$suma = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{(hms_i - hmg_i)} \quad (4.18)$$

- i) Obtiene el  $\eta_d$ , ecuación (4.19).

$$\eta_d = coef \cdot C_L \cdot suma \quad (4.19)$$

Los resultados de los procedimientos ejecutados en estos pasos se almacenan en una matriz que se llama “*Etad*”, cuya dimensión depende del número de ensayos realizados. En otra matriz denominada “*Ped*”, se guardan los valores promedios de cada uno de los parámetros contenidos en “*Etad*”. La matriz “*Ped*” tiene una sola fila, y la cantidad de columnas depende del número de ensayos realizados.

#### 4.2.7 Subrutinas “*res1*” y “*res2*”

Con todos los cálculos realizados, se toman, para el caso de ensayo con flujo de agua, los valores promedios de los parámetros  $L/G$ ,  $\eta_d$ ,  $CT$ ,  $QP$ ,  $W$ ,  $W_g$ ,  $V_m$ ,  $DP_T$ , y  $\tau$ , correspondientes a cada una de las velocidades de aire o caudales de agua ensayados, contenidos en las matrices “*P*”, “*Pv*”, y “*Pe*”. Estos datos se almacenan en una matriz llamada “*Res*”, para su posterior registro en una tabla de Excel. Para el caso de ensayo sin flujo de agua, se toman los valores promedios de los parámetros  $QP$ ,  $W$ ,  $W_g$ ,  $V_m$ ,  $DP_T$ , y  $\tau$ .

La subrutina que ejecuta este procedimiento se denomina “*res1*” para el caso de ensayo sin flujo de agua, y “*res2*” para el caso de ensayo con flujo de agua.

La Fig.4.17 muestra de una manera práctica lo expresado anteriormente. Esta figura corresponde a un ejemplo de un ensayo con flujo de agua en la torre de tiro inducido con 2 capas de relleno salpicado (n), velocidad de 1,4 [m/s] y caudal nominal de 6000 [l/h]. Se obtiene de la hoja de cálculo *Resultados* del libro de trabajo *Resultados Con Agua*, que fue generada con la subrutina “*res\_res2*” para este ejemplo.

Velocidad	L/G	$\eta_d$	CT	QP	W	Wg	$V_m$	$DP_T$	$\tau$
[m/s]	[--]	[--]	[m/h]	[--]	[Kw]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[Pa]	[--]
1,40	1,967	0,465	11,634	217,410	0,183	0,729	1,407	-32,968	28,515
1,75	1,585	0,534	11,619	158,416	0,254	0,904	1,744	-48,881	27,535
2,33	1,184	0,652	11,585	115,421	0,441	1,207	2,329	-85,648	27,055
2,92	0,943	0,776	11,577	100,573	0,758	1,514	2,920	-138,538	27,826

Fig.4.17 – Promedios de los resultados finales de los distintos parámetros

#### 4.2.8 Subrutinas “*res\_cor\_pre*”, “*res\_vel*”, “*res\_en*”, y “*res\_res*”

Como paso final se procede al registro de todos los valores leídos o calculados, por cada una de las subrutinas mencionadas anteriormente, en las distintas hojas de cálculo que componen el libro de trabajo *Resultado Sin Agua* o *Resultados Con Agua* (dependiendo del tipo de ensayo realizado), usando el comando “*xlswrite*”. Las subrutinas que se encargan de este registro son las siguientes:

- Para ensayos con flujo de agua.
  - “res\_cor\_pre2”: registra los valores obtenidos con “cor\_pre” en la hoja de cálculo *Corrección de Presiones*, del libro de trabajo *Resultado Con Agua*.
  - “res\_vel2”: registra los valores obtenidos con “vel2” en la hoja de cálculo *Velocidad del aire*, del libro de trabajo *Resultado Con Agua*.
  - “res\_en”: registra los valores obtenidos con “ensayo” en la hoja de cálculo *Ensayo* del libro de trabajo *Resultados Con Agua*.
  - “res\_res2”: registra los valores obtenidos con “res2” en la hoja de cálculo *Resultados* del libro de trabajo *Resultado Con Agua*.
  
- Para ensayos sin flujo de agua.
  - “res\_cor\_pre1”: registra los valores obtenidos con “cor\_pre” en la hoja de cálculo *Corrección de Presiones Sin Agua*, del libro de trabajo *Resultado Sin Agua*.
  - “res\_vel1”: registra los valores obtenidos con “vel1” en la hoja de cálculo *Velocidad del aire Sin Agua*, del libro de trabajo *Resultado Sin Agua*.
  - “res\_res1”: registra los valores obtenidos con “res1” en la hoja de cálculo *Resultados* del libro de trabajo *Resultado Sin Agua*.

Para la torre de tiro inducido los gráficos que se realizan son los de  $\eta_d$  Vs  $V_m$ ,  $QP$  Vs  $V_m$ ,  $DP_T$  Vs  $V_m$ ,  $\tau$  Vs  $V_m$ ,  $\eta_d$  Vs  $L/G$ ,  $QP$  Vs  $L/G$ ,  $DP_T$  Vs  $L/G$ ,  $\tau$  Vs  $L/G$ , y para la torre de tiro forzado se hacen los gráficos de  $\eta_d$  Vs  $L/G$ ,  $QP$  Vs  $L/G$ ,  $DP_T$  Vs  $L/G$ ,  $\tau$  Vs  $L/G$ . Dichos gráficos se obtienen con el comando “plot”.

Las Fig.4.6 a Fig.4.17 muestran cómo quedan, para un valor determinado de velocidad del aire (1,4 [m/s] en este ejemplo), las columnas de las planillas contenidas en las distintas hojas de cálculo del libro de trabajo *Resultado Sin Agua* o *Resultados Con Agua*, al ser llenadas por estas subrutinas.





## CAPITULO 5

### 5. Ensayos y estudio de las prestaciones termoeléctricas de la torre DZ M1

#### 5.1 Introducción

Para la evaluación de las performances térmicas y electro-fluidodinámicas de torres de enfriamiento se realizaron una serie de ensayos, siguiendo las directivas del CTI, con el fin de obtener la curva de funcionamiento y el parámetro de calidad electro-fluidodinámico. Este estudio se efectuó para diferentes condiciones de funcionamiento y configuraciones de rellenos, con el fin de comparar estos resultados con los obtenidos en otras torres de enfriamiento.

#### 5.2 Descripción del producto de ensayo

- Torre de Enfriamiento:
  - Tipo: tiro mecánico – flujo contracorriente.
  - Firma: Ing. Dziula y Cía. S. A.
  - Modelo: DZ M1.
- Motor:
  - Marca: ADAS.
  - N° de Serie: 95031.
  - Tipo: NRG11.
  - Potencia Nominal: 0,35 [CV].
  - [r.p.m]: 1450.
- Ventilador:
  - Marca: ADAS.
  - Diámetro Exterior: 0,45 [m].
  - Diámetro Interior: 0,43 [m].
  - N° de Palas: 5.
  - Angulo de Palas: 40 [°].

En la *Fig.5.1* se puede observar el conjunto completo de la instalación y la torre de enfriamiento, para un ensayo con 2 capas de relleno salpicado (n), armado afuera del Laboratorio de Aeronáutica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la UNC.



*Fig.5.1 – Torre de enfriamiento y su instalación para ensayos con agua caliente*

### **5.3 Metodología**

Para la realización de los ensayos se siguió el protocolo explicitado en el Capítulo 2, en el cual mediante el SAD y demás instrumentos se determinan los siguientes parámetros.

- Condiciones iniciales: presión ambiente, temperatura ambiente, humedad.
- Errores a cero iniciales.
- Temperaturas de entrada y salida de agua.
- Caudales de agua.
- Presiones ambientes (medidas con sensor de presión).
- Errores a cero finales.
- Potencia.
- Condiciones finales: presión ambiente, temperatura ambiente, humedad.

Con estos datos se ejecuta el programa “torre”, para obtener los valores que permiten trazar las curvas de operación y de eficiencia de la torre de enfriamiento.

## 5.4 Configuraciones de ensayo

Se determinaron las performances térmicas y eléctricas de las mismas configuraciones utilizadas en la determinación del caudal de aire, las cuales están explicitadas en el Capítulo 3.

## 5.5 Resultados y gráficos

### 5.5.1 Tablas de resultados

En la *Tabla 5.1* se presentan los resultados del ensayo de la torre de enfriamiento para una configuración sin relleno, con los siguientes caudales de agua: 5000 [l/h], 7000 [l/h], 9000 [l/h] y 11000 [l/h]. En Anexo B se muestran las planillas resumen de estos resultados, y en Anexo E se presentan las planillas de cálculo pertinentes.

<b>Sin Relleno</b>			
<b>Caudal</b> [l/h]	<b>L/G</b> [ --- ]	<b><math>\eta_d</math></b> [ --- ]	<b>QP</b> [ --- ]
<b>5000</b>	1,004	0,256	92,025
<b>7000</b>	1,398	0,217	91,418
<b>9000</b>	1,755	0,202	85,273
<b>11000</b>	2,109	0,195	84,95

*Tabla 5.1 – Resultados de la torre DZ M1 sin relleno*

De manera similar, se presentan en *Tablas 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, y 5.7* los resultados obtenidos para los diferentes tipos y alturas de relleno, con todos los caudales de agua ensayados. En Anexo B se muestran las planillas resumen de estos resultados, y en Anexo E se presentan las planillas de cálculo pertinentes.

<b>Relleno Película 1 Capa</b>			
<b>Caudal</b> [l/h]	<b>L/G</b> [ --- ]	<b><math>\eta_d</math></b> [ --- ]	<b>QP</b> [ --- ]
<b>5000</b>	1,103	0,409	114,822
<b>7000</b>	1,605	0,313	134,608
<b>9000</b>	2,085	0,264	137,258
<b>11000</b>	2,543	0,217	138,279

*Tabla 5.2 – Resultados de la torre DZ M1 con 1 capa relleno película*

<b>Relleno Película 2 Capas</b>			
<b>Caudal</b> [l/h]	<b>L/G</b> [ --- ]	<b><math>\eta_d</math></b> [ --- ]	<b>QP</b> [ --- ]
<b>5000</b>	1,239	0,552	166,363
<b>7000</b>	1,737	0,411	174,119
<b>9000</b>	2,161	0,338	155,921
<b>11000</b>	2,82	0,294	191,378

Tabla 5.3 – Resultados de la torre DZ M1 con 2 capas relleno película

<b>Relleno Salpicado (u) 1 Capa</b>			
<b>Caudal</b> [l/h]	<b>L/G</b> [ --- ]	<b><math>\eta_d</math></b> [ --- ]	<b>QP</b> [ --- ]
<b>5000</b>	1,079	0,472	116,402
<b>7000</b>	1,608	0,341	140,229
<b>9000</b>	2,227	0,295	181,128
<b>11000</b>	2,663	0,241	167,248

Tabla 5.4 – Resultados de la torre DZ M1 con 1 capa relleno salpicado posición (u)

<b>Relleno Salpicado (u) 2 Capas</b>			
<b>Caudal</b> [l/h]	<b>L/G</b> [ --- ]	<b><math>\eta_d</math></b> [ --- ]	<b>QP</b> [ --- ]
<b>5000</b>	0,972	0,782	83,038
<b>7000</b>	1,438	0,452	101,777
<b>9000</b>	1,967	0,382	121,323
<b>11000</b>	2,469	0,317	131,969

Tabla 5.5 – Resultados de la torre DZ M1 con 2 capas relleno salpicado posición (u)

<b>Relleno Salpicado (n) 1 Capa</b>			
<b>Caudal</b> [l/h]	<b>L/G</b> [ --- ]	<b><math>\eta_d</math></b> [ --- ]	<b>QP</b> [ --- ]
<b>5000</b>	1,212	0,341	155,87
<b>7000</b>	1,608	0,324	144,451
<b>9000</b>	1,933	0,307	119,846
<b>11000</b>	2,334	0,283	113,175

Tabla 5.6 – Resultados de la torre DZ M1 con 1 capa relleno salpicado posición (n)

Relleno Salpicado (n) 2 Capas			
Caudal [l/h]	L/G [---]	$\eta_d$ [---]	QP [---]
5000	1,223	0,527	167,467
7000	1,703	0,417	163,899
9000	2,121	0,352	144,765
11000	2,719	0,316	163,008

Tabla 5.7 – Resultados de la torre DZ M1 con 2 capas  
relleno salpicado posición (n)

### 5.5.2 Curvas de funcionamiento

En la Fig.5.2 se muestra el grafico de las curvas de funcionamiento de la torre de enfriamiento, correspondientes a cada una de las configuraciones de ensayo. En la Tabla 5.8 se tienen los coeficientes de las funciones de regresión, ecuación 1.3, de cada una de las curvas de funcionamiento.

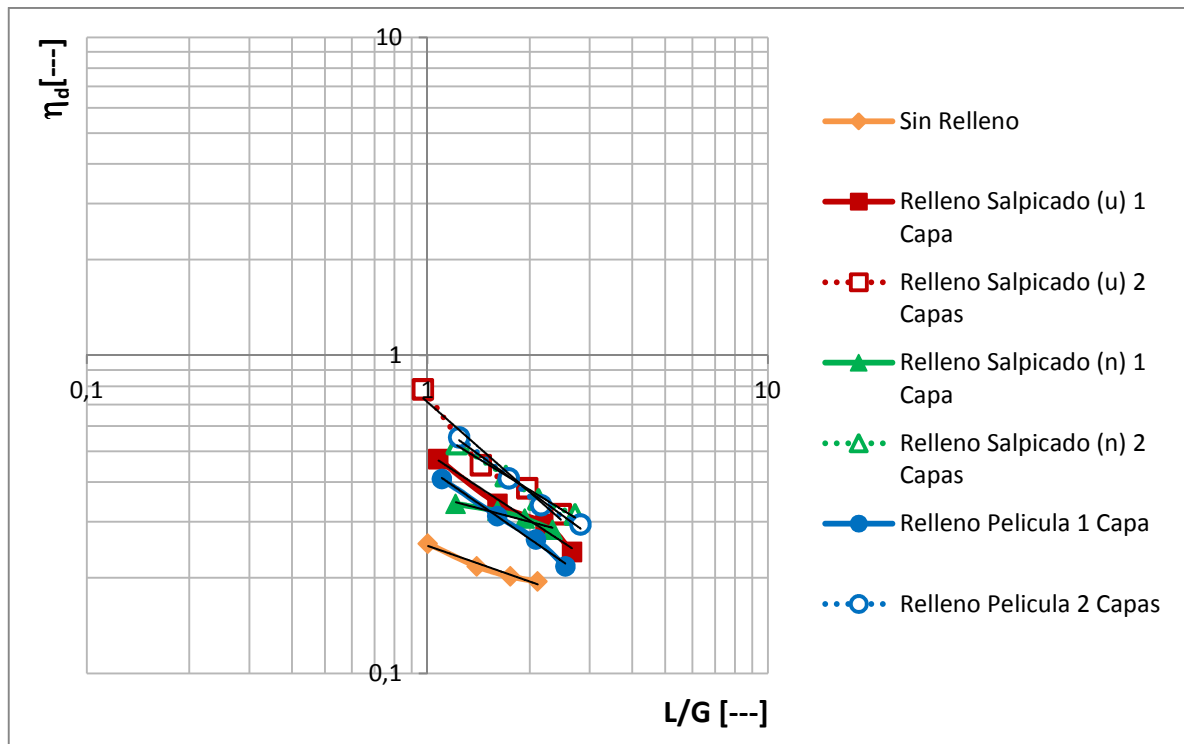


Fig.5.2 – Curvas de funcionamiento de las distintas configuraciones de relleno

<b>Relleno</b>	<b>C</b>	<b>n</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Sin relleno	0,2523	0,374	0,9684
Salpicado (u), 1 capa	0,493	0,703	0,9818
Salpicado (u), 2 capas	0,7144	0,943	0,9581
Salpicado (n), 1 capa	0,3649	0,282	0,9575
Salpicado (n), 2 capas	0,5936	0,653	0,989
Película, 1 capa	0,443	0,741	0,9945
Película, 2 capas	0,6397	0,779	0,987

Tabla 5.8 – Coeficientes de las funciones de regresión de las curvas de funcionamiento

En la Fig.5.2 se puede observar prestaciones termodinámicas previsibles de la torre de enfriamiento para las diferentes configuraciones de relleno e incluso sin relleno.

En Fig.5.3, se presenta el parámetro de calidad electro-fluidodinámico ( $QP$ ) en función de la relación de caudales máscicos  $L/G$ , para los distintos caudales y configuraciones de relleno, en ella se puede observar un gran rango de variación del  $QP$  vs  $L/G$  entre una curva y otra para las diferentes configuraciones. Probablemente esto se deba a la variación del coeficiente de perdida de carga entre las distintas configuraciones de relleno y por la variación de la eficiencia del ventilador como consecuencia de las variaciones de la contrapresión de descarga.

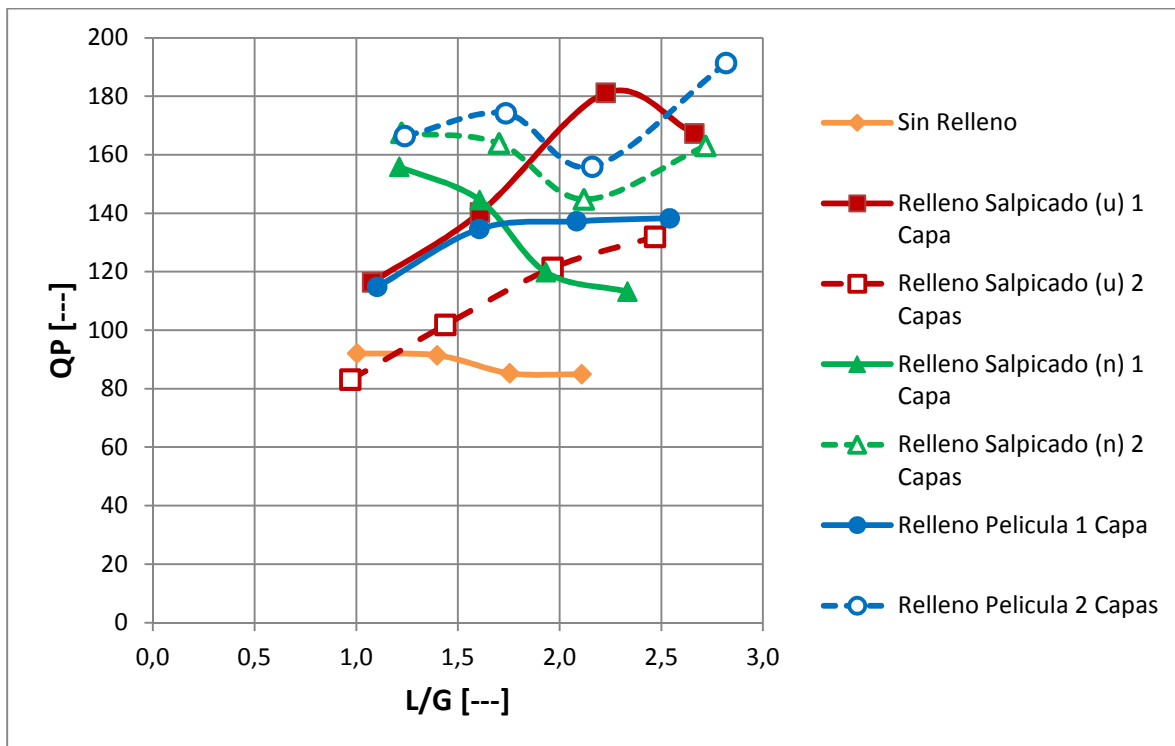


Fig.5.3 –  $QP$  en función de  $L/G$ , para las distintas configuraciones de relleno

### 5.6 Estudio del comportamiento del flujo de agua a la salida de la tobera

Con el objeto de analizar el comportamiento de la tobera de descarga para distintos caudales, se tomaron fotos con las distintas configuraciones de relleno y caudales de agua, que se muestran en las Fig.5.4 a Fig.5.7.



Fig.5.4 - Sin relleno  $W_L=5000$  [l/h]



Fig.5.5 - Película 2 capas  $W_L= 7000$  [l/h]



Fig.5.6 - Salpicado 1 capa  $W_L=9000$  [l/h]



Fig.5.7 - Salpicado 2 capas  $W_L=11000$  [l/h]

En las Fig.5.4 a Fig.5.7 se observa que no se genera una apreciable variación del ángulo de salida de la tobera para los diferentes caudales de agua, por lo tanto se concluye que la tobera de descarga no es una variable a tener en cuenta.





## CAPITULO 6

### 6. Estudio comparativo de torres de tiro inducido y tiro forzado

#### 6.1 Introducción

Para comparar las prestaciones de una torre de tiro forzado frente a una de tiro inducido, objetivo de este trabajo, se analiza el comportamiento de la torre ensayada con los resultados obtenidos para una torre de tiro inducido en Ref. [1] y Ref. [8], para las mismas configuraciones de rellenos ensayados en ambos tipos de torres de enfriamiento.

Estos rellenos son:

- Torre de enfriamiento en vacío, sin relleno.
- Relleno de película DZ™, 1 capa.
- Relleno de película DZ™, 2 capas.
- Relleno de salpicado DZ™, 1 capa en posición (n).
- Relleno de salpicado DZ™, 2 capas en posición (n).

El objetivo que se busca es determinar en qué condiciones y prestaciones es aconsejable el uso de la torre de tiro forzado, en vez de la torre de tiro inducido.

#### 6.2 Torre de enfriamiento de tiro inducido, prestaciones

En el marco del proyecto de I&D, denominado: "Eficiencias Electro y Termo-Fluido Dinámicas con aplicación a rellenos de torres de enfriamiento", se desarrolló una torre de enfriamiento experimental de tiro inducido, que fue evaluada y estudiada en Ref. [1] y Ref. [8].

Se presentan en *Tablas 6.1 a 6.5* solo los resultados de los ensayos realizados en la torre de enfriamiento experimental de tiro inducido, para los distintos tipos de rellenos mencionados en el punto 6.1, y para valores, de velocidad del aire y caudal de agua, similares a los de la torre de enfriamiento de tiro forzado ensayada.

<b>Sin Relleno</b>					
<b>Velocidad [m/s]</b>	<b><math>W_L</math> [l/h]</b>	<b><math>V_m</math> [m/s]</b>	<b><math>L/G</math> [---]</b>	<b><math>\eta_d</math> [---]</b>	<b>QP [---]</b>
<b>2,33</b>	6000	2,37	1,194	0,226	101,25
	9000	2,37	1,786	0,246	109,888
	12000	2,33	2,389	0,268	130,367
<b>2,92</b>	6000	2,97	0,96	0,255	84,767
	9000	2,92	1,447	0,272	97,451
	12000	2,95	1,889	0,298	108,97

Tabla 6.1 – Resultados de la torre de tiro inducido sin relleno

<b>Relleno Pelicula 1 Capa</b>					
<b>Velocidad [m/s]</b>	<b><math>W_L</math> [l/h]</b>	<b><math>V_m</math> [m/s]</b>	<b><math>L/G</math> [---]</b>	<b><math>\eta_d</math> [---]</b>	<b>QP [---]</b>
<b>2,33</b>	6000	2,24	1,285	0,374	102,981
	9000	2,17	2,003	0,344	128,814
	12000	2,25	2,554	0,329	128,823
<b>2,92</b>	6000	2,97	0,978	0,466	83,093
	9000	2,92	1,493	0,418	94,709
	12000	2,91	1,978	0,399	104,375

Tabla 6.2 – Resultados de la torre de tiro inducido con 1 capa de relleno película

<b>Relleno Pelicula 2 Capas</b>					
<b>Velocidad [m/s]</b>	<b><math>W_L</math> [l/h]</b>	<b><math>V_m</math> [m/s]</b>	<b><math>L/G</math> [---]</b>	<b><math>\eta_d</math> [---]</b>	<b>QP [---]</b>
<b>1,75</b>	6000	1,79	1,62	0,49	153,777
	9000	1,79	2,413	0,427	169,257
	12000	1,82	3,144	0,393	182,984
<b>2,33</b>	6000	2,4	1,214	0,582	113,879
	9000	2,38	1,82	0,496	128,646
	12000	2,44	2,342	0,448	133,599

Tabla 6.3 – Resultados de la torre de tiro inducido con 2 capas de relleno película

<b>Relleno Salpicado (n) 1 Capa</b>					
<b>Velocidad</b> <b>[m/s]</b>	<b><math>W_L</math></b> <b>[l/h]</b>	<b><math>V_m</math></b> <b>[m/s]</b>	<b><math>L/G</math></b> <b>[ --- ]</b>	<b><math>\eta_d</math></b> <b>[ --- ]</b>	<b><math>QP</math></b> <b>[ --- ]</b>
<b>2,33</b>	6000	2,35	1,247	0,454	153,959
	9000	2,34	1,835	0,418	172,905
	12000	2,35	2,4	0,402	192,466
<b>2,92</b>	6000	2,94	0,989	0,547	145,927
	9000	2,86	1,48	0,548	204,705
	12000	2,87	1,955	0,595	306,762

Tabla 6.4 – Resultados de la torre de tiro inducido con 1 capa de relleno salpicado (n)

<b>Relleno Salpicado (n) 2 Capas</b>					
<b>Velocidad</b> <b>[m/s]</b>	<b><math>W_L</math></b> <b>[l/h]</b>	<b><math>V_m</math></b> <b>[m/s]</b>	<b><math>L/G</math></b> <b>[ --- ]</b>	<b><math>\eta_d</math></b> <b>[ --- ]</b>	<b><math>QP</math></b> <b>[ --- ]</b>
<b>1,75</b>	6000	1,76	1,607	0,561	235,626
	9000	1,78	2,346	0,484	255,018
	12000	1,77	3,113	0,443	287,16
<b>2,33</b>	6000	2,28	1,248	0,683	214,96
	9000	2,35	1,781	0,595	224,592
	12000	2,37	2,336	0,537	240,841

Tabla 6.5 – Resultados de la torre de tiro inducido con 2 capas de relleno salpicado (n)

### 6.3 Torre de tiro inducido vs torre de tiro forzado

A fin de comparar los valores de eficiencia termodinámica y electromecánica entre los tipos de torre de tiro inducido y tiro forzado, se graficaron el  $\eta_d$  y el  $QP$  en función de la relación  $L/G$ , Fig.6.1 a Fig.6.10, para los tipos y alturas de rellenos nombrados en el punto 6.1.

Los valores utilizados para la realización de estos gráficos, correspondientes a la torre de tiro forzado, se tomaron de *Tabla 5.1*, *Tabla 5.2*, *Tabla 5.3*, *Tabla 5.6* y *Tabla 5.7*. Los valores correspondientes a la torre de tiro inducido se toman de *Tabla 6.1* a *Tabla 6.5*.

• Sin Relleno

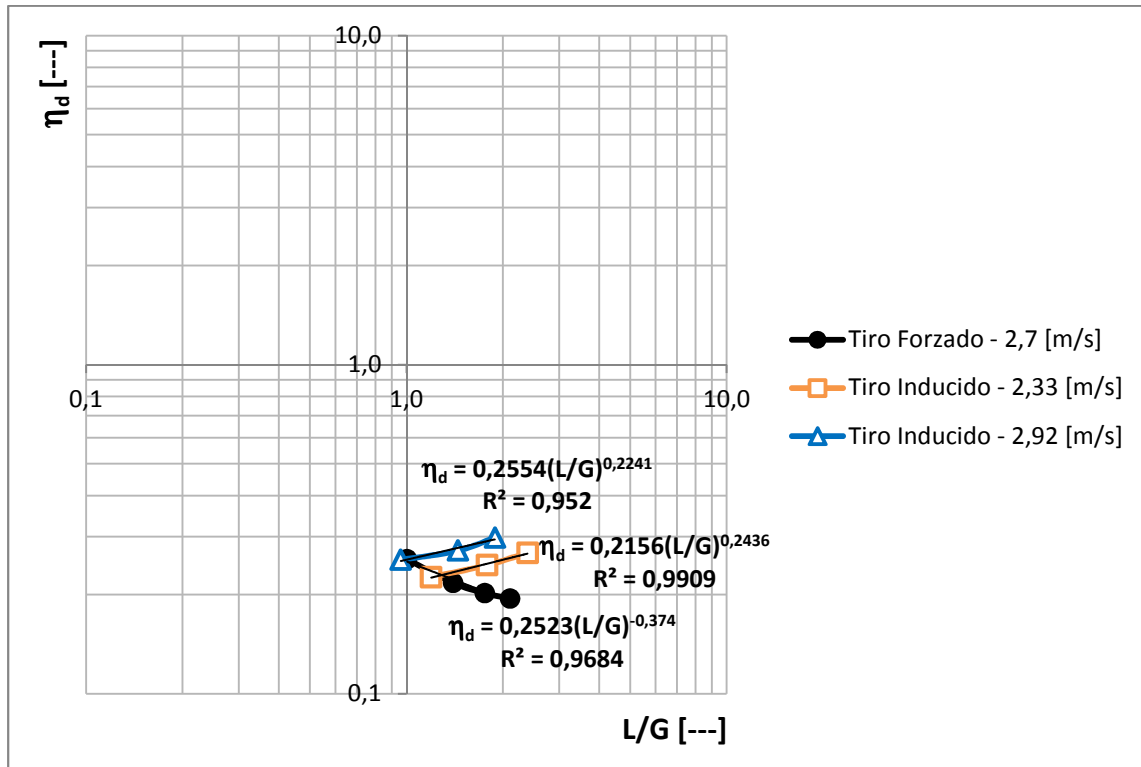


Fig.6.1 – Comparación del  $\eta_d$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, sin relleno

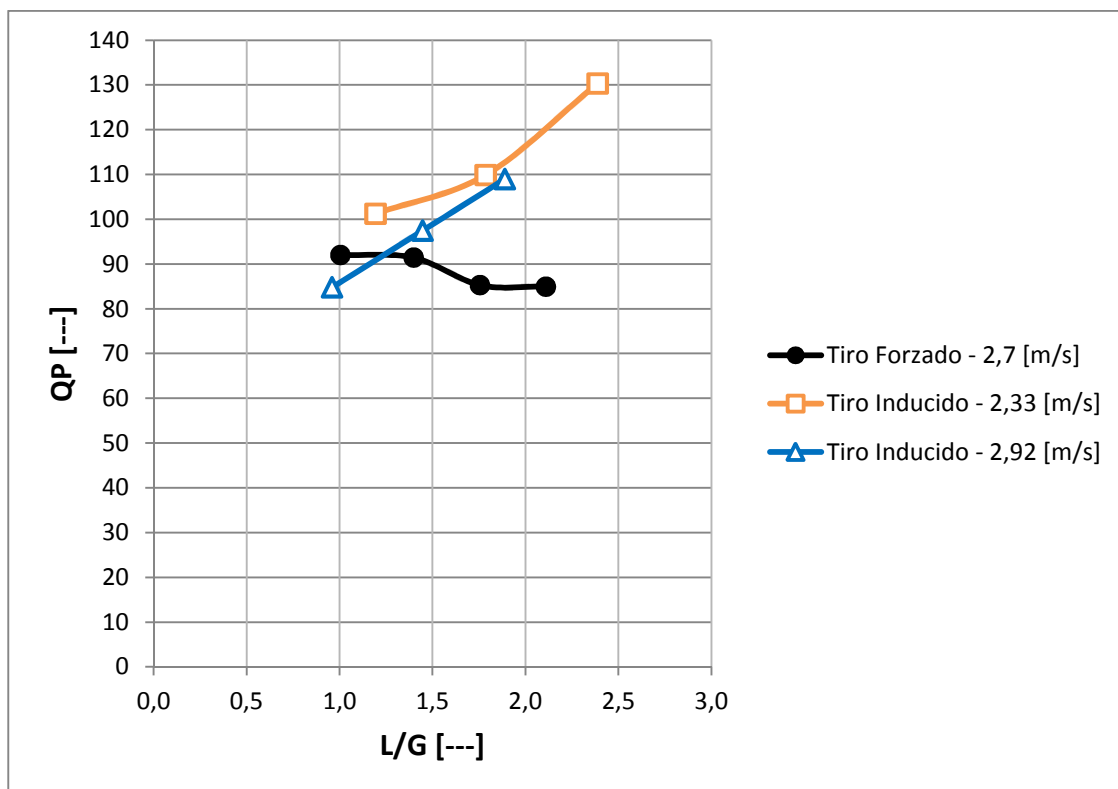


Fig.6.2 – Comparación del  $QP$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, sin relleno

• Relleno Película, 1capa

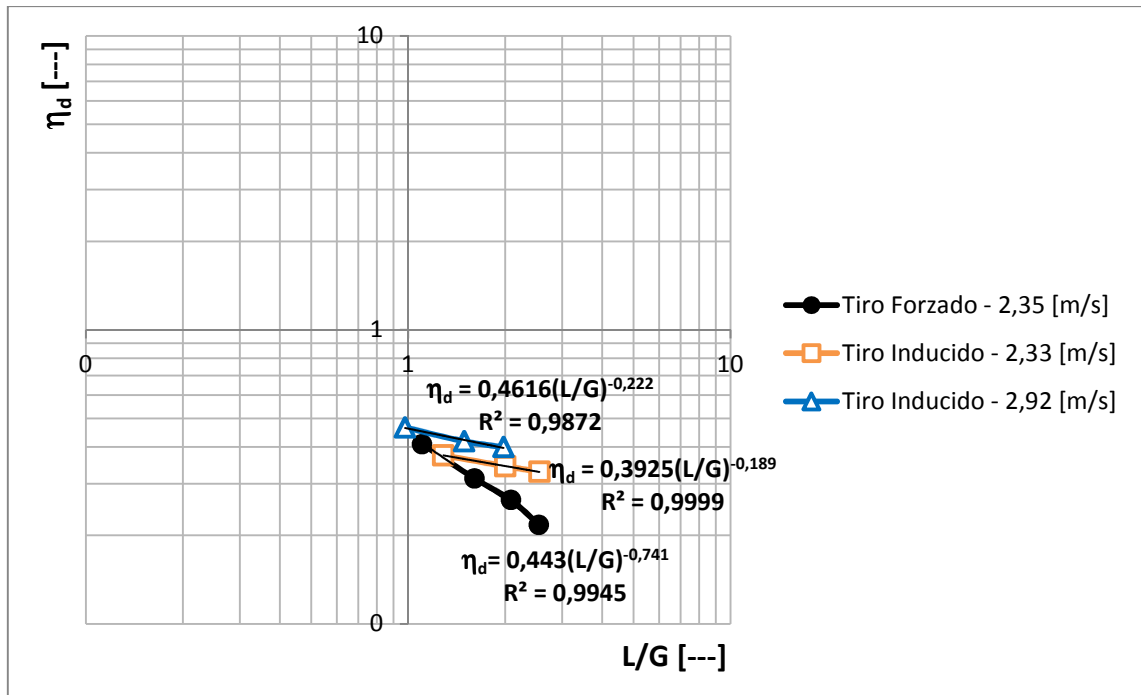


Fig.6.3 – Comparación del  $\eta_d$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, con 1 capa de relleno película

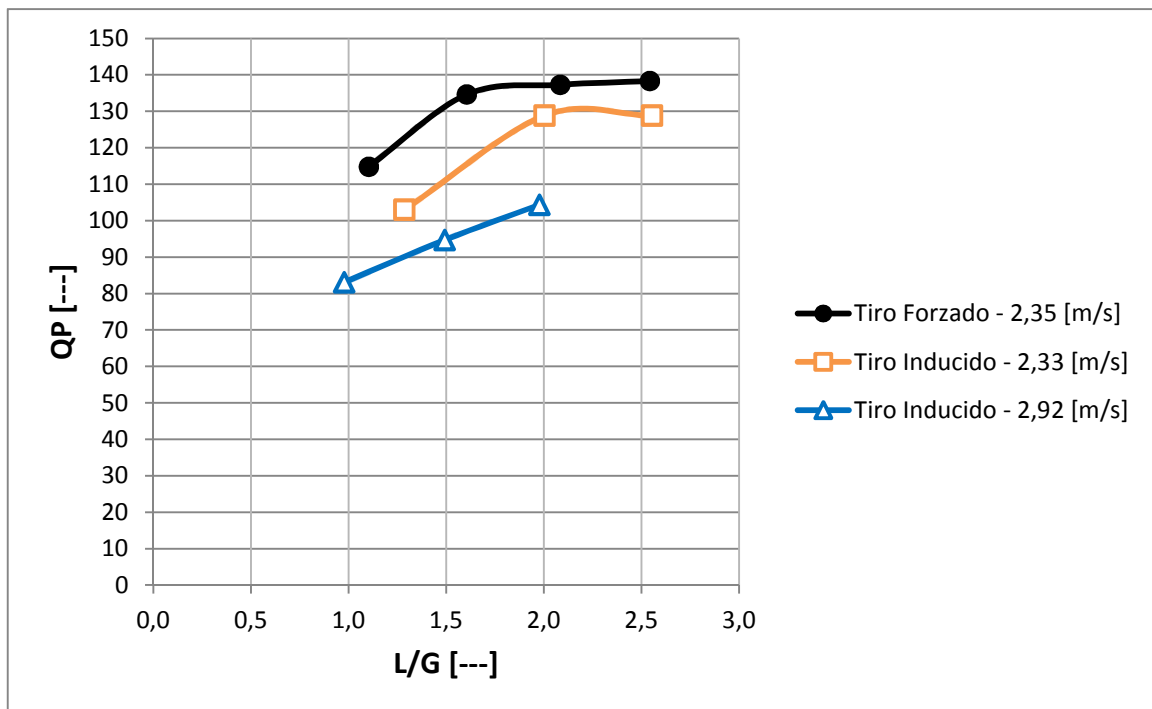


Fig.6.4 – Comparación del  $QP$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, con 1 capa de relleno película

• Relleno película, 2 capas

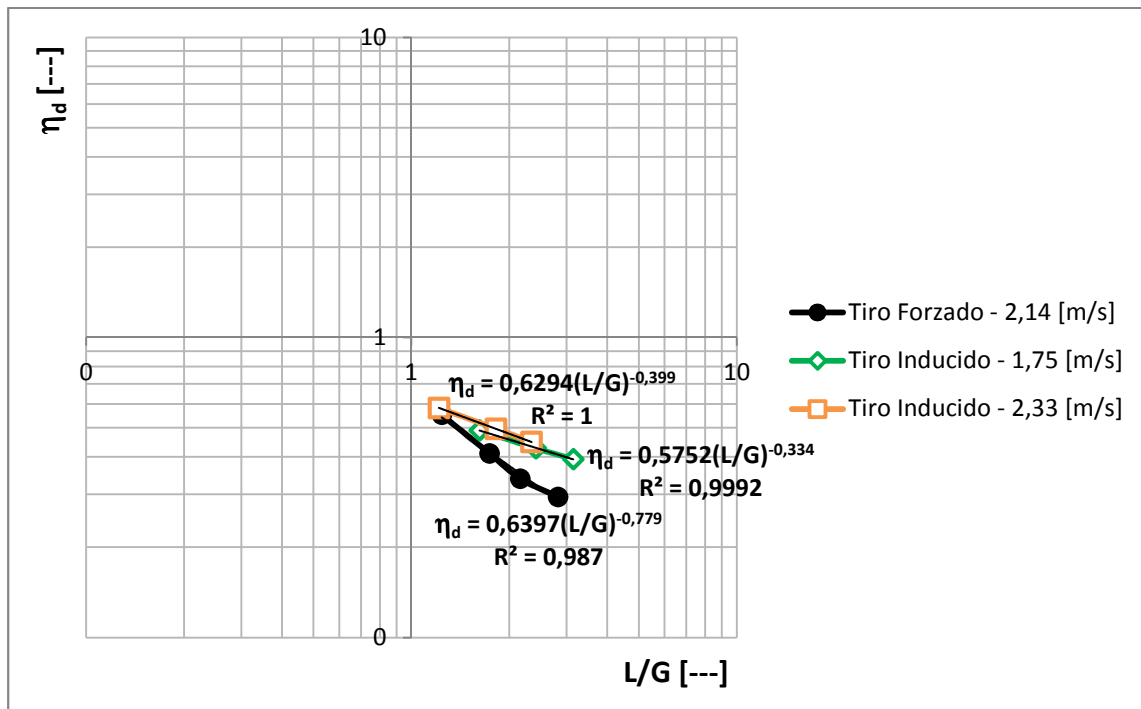


Fig.6.5 – Comparación del  $\eta_d$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, con 2 capas de relleno película

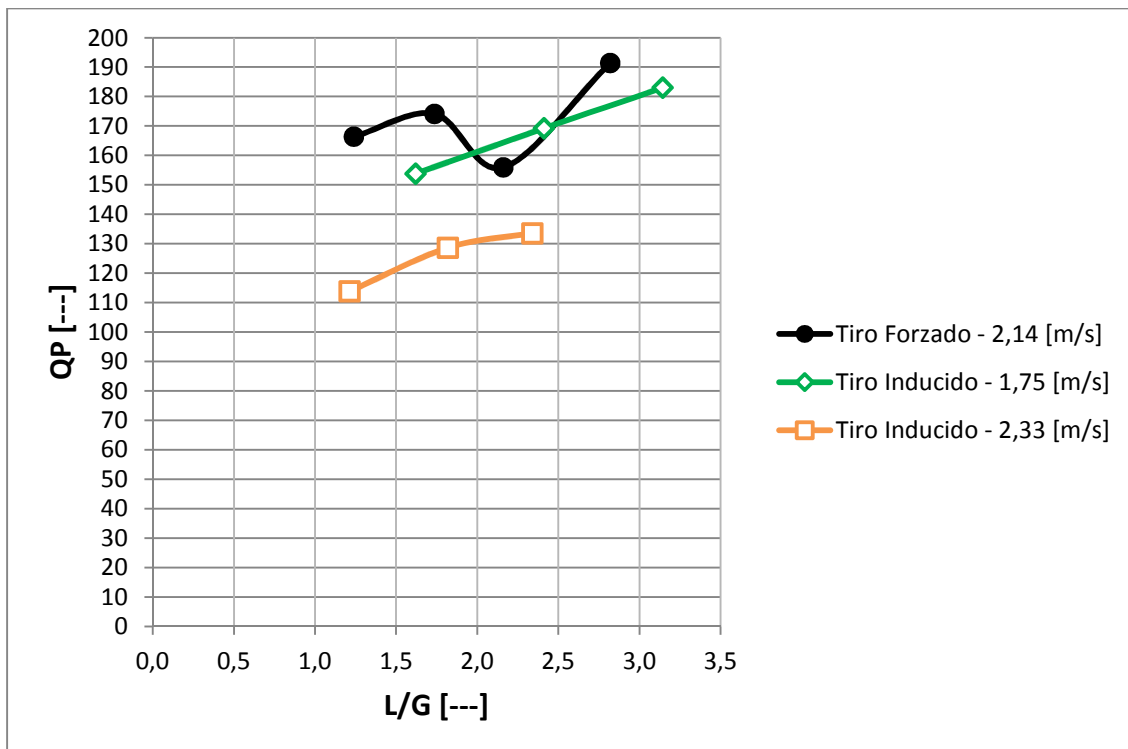


Fig.6.6 – Comparación del  $QP$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, con 2 capas de relleno película

• Relleno salpicado (n), 1 capa

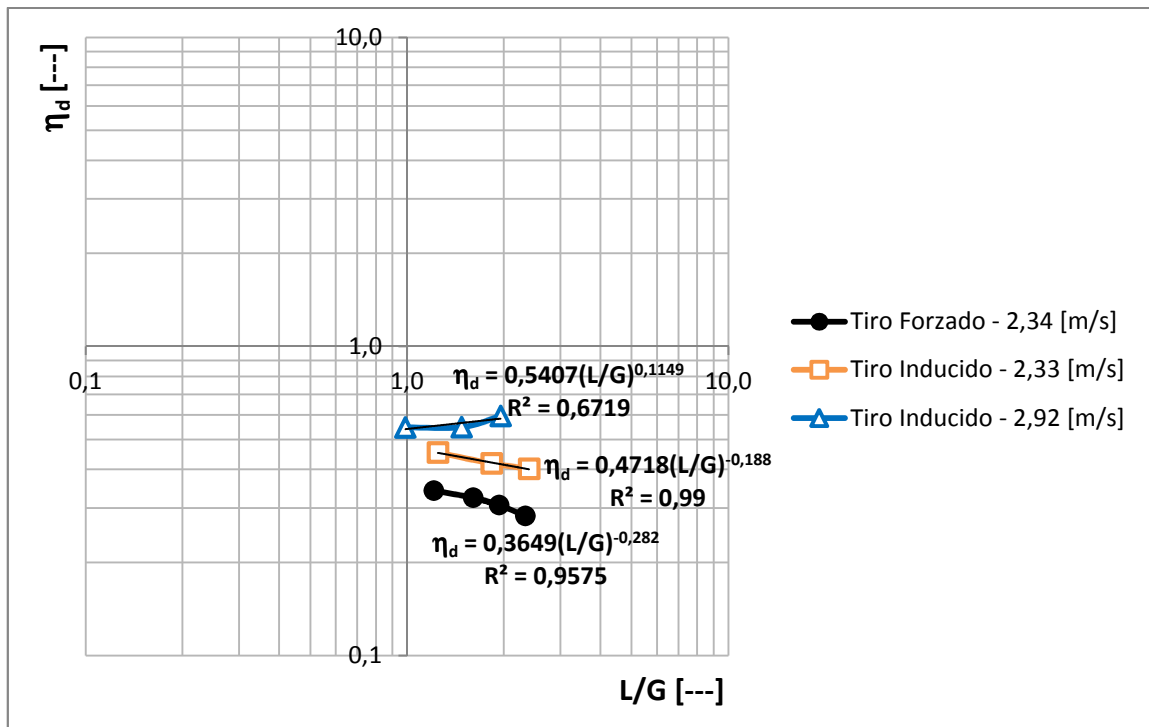


Fig.6.7 – Comparación del  $\eta_d$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, con 1 capa de relleno salpicado (n)

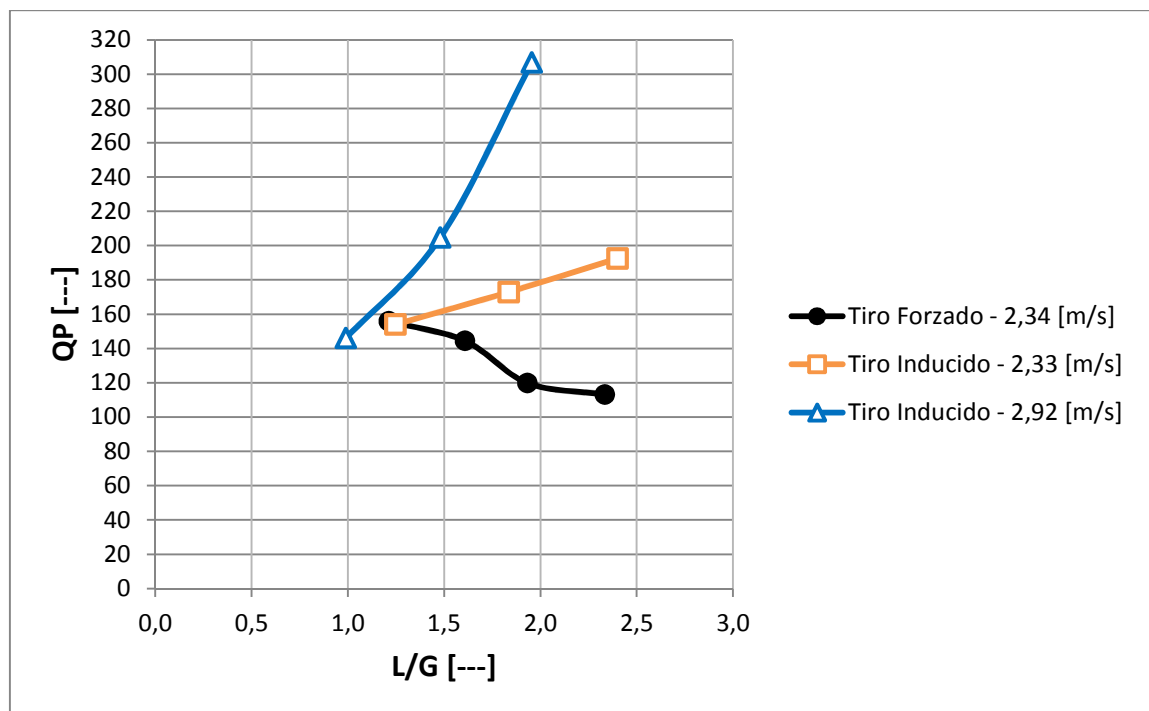


Fig.6.8 – Comparación del  $QP$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, con 1 capa de relleno salpicado (n)

• Relleno salpicado (n), 2 capas

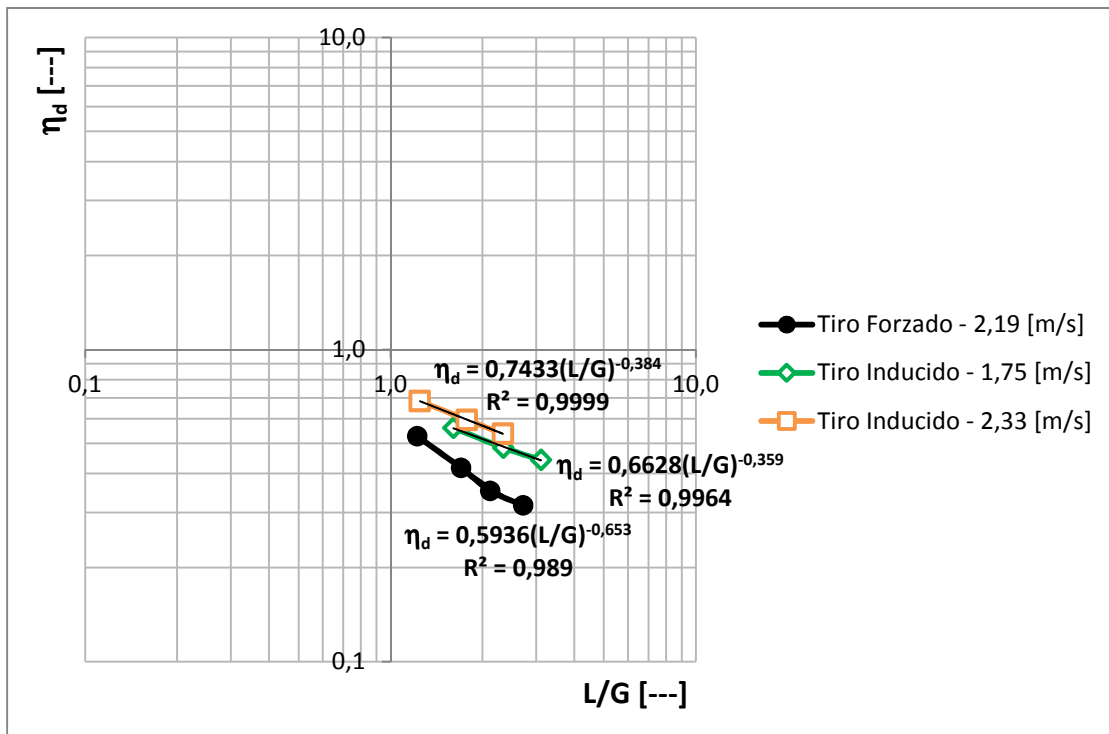


Fig.6.9 – Comparación del  $\eta_d$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, con 2 capas de relleno salpicado (n)

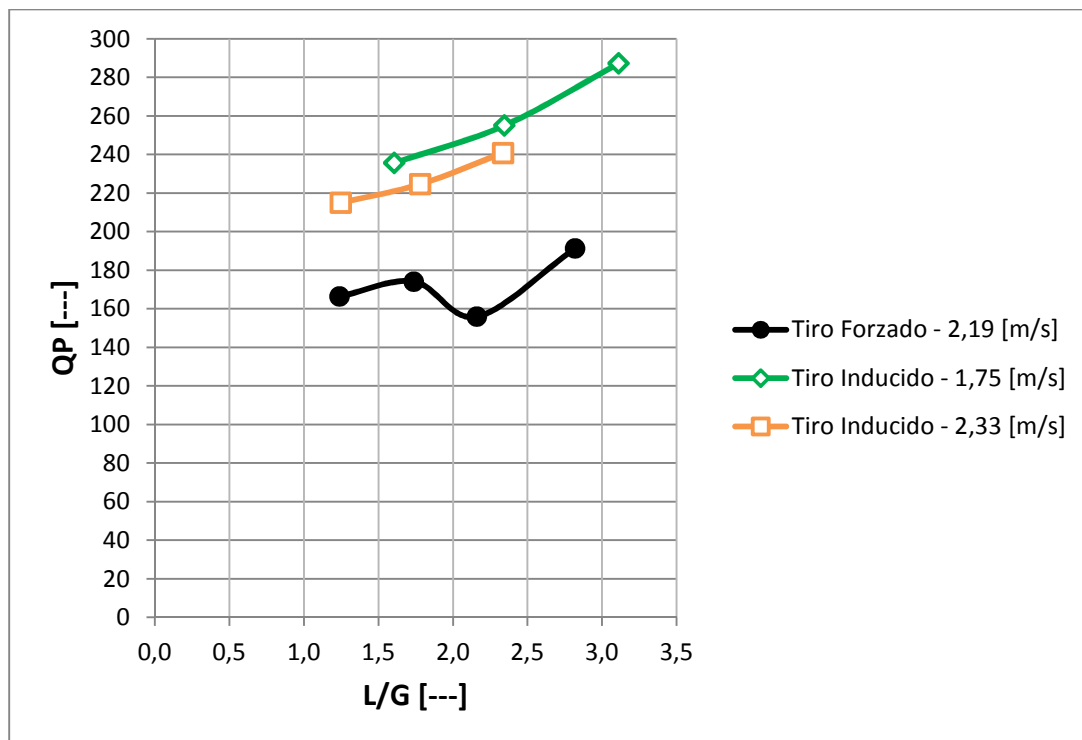


Fig.6.10 – Comparación del  $QP$  de las torres de tiro inducido y tiro forzado, con 2 capas de relleno salpicado (n)



Al observar las Fig.6.1 a Fig.6.10 se puede concluir que, para configuraciones sin relleno y relleno de película de 1 y 2 capas, a bajas relaciones de  $L/G$ , las performances térmicas se asemejan bastante siendo en algunos puntos coincidentes, no así a altas relaciones de  $L/G$ , en la que las performances térmicas en la torre de tiro inducido son mejores. En cuanto a las performances electro-fluidodinámicas, para el caso sin relleno, el comportamiento de la torre de tiro forzado es mejor (más eficiente) que la torre de tiro inducido, desmejorando a medida que se le adicionan rellenos, mientras que la torre de tiro inducido es más eficiente que la de tiro forzado para configuraciones de relleno de película.

Para las configuraciones de relleno de salpicado de 1 y 2 capas se puede observar que las performances térmicas de la torre de tiro inducido son mucho mejores que las de tiro forzado, sin embargo el parámetro de calidad electro-fluidodinámico ( $QP$ ) en la torre de tiro forzado es menor que en la de tiro inducido, es decir que con este tipo de relleno la torre de tiro forzado es más eficiente que la de tiro inducido.



## Conclusión

Del análisis de los resultados experimentales obtenidos en la torre de enfriamiento de tiro forzado, se concluye que la misma tiene un comportamiento térmico bastante previsible, debido a que la performance térmica ( $\eta_d$ ) mejora a medida que se le agregan más capas de relleno a la torre, no siendo el tipo de relleno un factor influyente, ya que todos los rellenos presentan comportamiento térmico semejante por capa. Sin embargo el comportamiento electro-fluidodinámico difiere para cada configuración de relleno, ya que se observa un gran rango de variación entre las curvas de  $QP$  vs  $L/G$  de los respectivos rellenos.

Al comparar la torre de enfriamiento de tiro forzado con la torre de enfriamiento experimental de tiro inducido, se concluye que para bajas relaciones de  $L/G$  las performances térmicas de ambas torres son semejantes, y al ir aumentando  $L/G$  la torre de tiro inducido resulta ser mejor que la de tiro forzado en este aspecto. En cuanto a las performances electro-fluidodinámicas, la torre de tiro forzado es mejor (más eficiente) que la de tiro inducido, excepto en el caso que se use el relleno de película.



## Bibliografía

- [1]. Robledo, J.M. “Evaluación experimental de rellenos de salpicado para torres de enfriamiento de agua”. Escuela de Ingeniería Mecánica Aeronáutica, Univ. Nac. de Córdoba, Diciembre 2012.
- [2]. EWK Torres de Refrigeracion. “Equipos de enfriamiento evaporativo. Torres de refrigeración: fundamentos, tipos y normativa”. <http://torresderefrigeracion.org/>.
- [3]. Martin Balestie. “Torres de Enfriamiento de Tiro Forzado: alternativas, riesgos y limitaciones”. <http://www.engineeringfundamentals.net/balestieCom/tiroforzado.htm>.
- [4]. Sirena, J.A. “The use of an Electrical-Fluid Dynamic parameter in cooling towers”, 61th. American Power Conference Proceedings, Session 46, pages 867-870, April 1999.
- [5]. Cooling Tower Institute. “Acceptance Test Code for Water – Cooling Towers”. CTI ATC-105, Febrero 1990.
- [6]. Pavón, H.D. “Determinación experimental de las performances térmicas de una torre de enfriamiento”. Escuela de Ingeniería Mecánica Aeronáutica, Univ. Nac. de Córdoba, Abril 1996.
- [7]. Cartechini, F. y Sirena, J. “Informe técnico: determinación del caudal de aire en una torre de enfriamiento de agua de tiro mecánico”. Escuela de Ingeniería Mecánica Aeronáutica, Univ. Nac. de Córdoba, Agosto 2000.
- [8]. D’Olivera, P. “Evaluación experimental de rellenos de película para torres de enfriamiento de agua”. Escuela de Ingeniería Mecánica Aeronáutica, Univ. Nac. de Córdoba, en preparación.
- [9]. Sirena, J. “Programa para calcular el número de unidades de difusión de la torre. Versión 001X”. Escuela de Ingeniería Mecánica Aeronáutica, Univ. Nac. de Córdoba, Julio 2005.
- [10]. Genskow, L., Beimesch, W., Hecht, J., Kemp, I., Langrish, T., Schwartzbach, C., Lee Smith, F. “Perry’s chemical engineers handbook – Section 12: psychrometry, evaporative cooling, and solids drying”. 8<sup>th</sup> edition, McGraw Hill.
- [11]. Wark, Kenneth Jr. “Termodinámica”. Quinta edición, Segunda edición en español, McGraw Hill Interamericana de México, México, 1991.



## ANEXO A

### Manual de usuario de los programas “torre” y “temp”

#### Contenido

A1. Introducción .....	91
A1.1 Acerca de “torre” .....	91
A1.2 Acerca de “temp” .....	91
A1.3 Requerimientos .....	92
A2. Instalación .....	93
A3. Libros de trabajo de Excel utilizados por los programas .....	95
A3.1 Libros de trabajo ADQUI .....	96
A3.2 Libro de trabajo <i>Datos de Ensayo</i> .....	97
A3.3 Libros de trabajo de <i>Resultados</i> .....	99
A3.4 Libros de trabajo utilizados por “temp” .....	100
A4. Trabajando con “torre” .....	101
A4.1 Consideraciones previas a ejecutar “torre” .....	101
A4.2 Ejemplo de utilización de “torre” .....	103
A5. Trabajando con “temp” .....	108
A5.1 Consideraciones previas a ejecutar “temp” .....	108
A5.2 Ejemplo de utilización de “temp” .....	108





## A1. Introducción

### A1.1 Acerca de “torre”

El programa informático “torre” forma parte del trabajo final “PRESTACIONES TERMO-ELECTRO-FLUIDODINAMICAS DE UNA TORRE DE ENFRIAMIENTO DE AGUA DE TIRO FORZADO”, de la carrera de Ingeniería Aeronáutica de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la UNC. Fue desarrollado para automatizar el procesamiento de los datos medidos en los ensayos de la torre de enfriamiento de dicho trabajo, con el fin de obtener la eficiencia de la misma. El lenguaje de programación en el que está escrito es Matlab.

Este software lee los valores medidos en los ensayos ( $Thw$ ,  $Tcw$ ,  $Tdb$ ,  $Twb$ ,  $P_{atm}$ ,  $\Delta P_T$ ,  $\Delta P_A$ ,  $Qi$ ) contenidos en libros de trabajo de Excel, calcula los distintos parámetros de la torre ( $L/G$ ,  $\eta_d$ ,  $CT$ ,  $QP$ ,  $W_g$ ,  $V_m$ ), realiza los gráficos de los mismos, y escribe todos los datos medidos y calculados en una planilla de Excel para su mejor apreciación.

### A1.2 Acerca de “temp”

El programa informático “temp” forma parte del trabajo final antes mencionado. Fue desarrollado para hacer una verificación rápida de los datos obtenidos en los ensayos, con la finalidad de saber si los valores de temperatura adquiridos son razonables.

Este software lee los valores de las temperaturas medidas en los ensayos ( $Thw$ ,  $Tcw$ ,  $Tdb$ ,  $Twb$ ) contenidas en libros de trabajo de Excel, y realiza los gráficos de las mismas en función del tiempo.

Vale aclarar que ambos programas fueron desarrollados para ser utilizados en los dos tipos de torres de enfriamiento con las cuales cuenta el Laboratorio de Aeronáutica de esta casa de altos estudios, las cuales son:

- Torre de tiro inducido: cuenta con un motor trifásico y un regulador electrónico de frecuencia para controlar la velocidad del ventilador.
- Torre de tiro forzado: poseen motores monofásicos, pudiendo desarrollar su ventilador una sola velocidad.

### **A1.3 Requerimientos**

Para poder instalar “torre” y “temp” es necesario contar con 170 [Mb] de espacio en el disco rígido.

Para que lea y escriba los libros de trabajo de Excel, los mismos deben poseer la extensión *.xlsx*, por lo tanto la versión de Excel con la que se trabaje debe ser la 2007, 2010 o 2013.

## A2. Instalación

El paquete de instalación de “torre” viene comprimido en el archivo *torre\_pkg*, y el de “temp” viene comprimido en el archivo *temp\_pkg*, ambos se encuentran, junto a otras dos carpetas (*Ensayo Con Agua* y *Ensayo Sin Agua*), en el directorio *Torre*, Fig.A1, contenido en el CD del trabajo final.

Primeramente se debe copiar el directorio *Torre* en cualquier lugar del disco local (C:) de la computadora del usuario, luego haciendo doble clic sobre *torre\_pkg*, y siguiendo las instrucciones de cada una de las sucesivas ventanas se instala “torre” y el MCR, siendo este último el run time de Matlab, que es el programa que permite ejecutar “torre” sin necesidad de tener instalado Matlab en la computadora. Para instalar “temp” se procede de la misma manera que para “torre”, pero haciendo doble clic sobre *temp\_pkg*.

En Fig.A2 se muestra el directorio *Torre* con los programas “torre” y “temp” ya instalados.

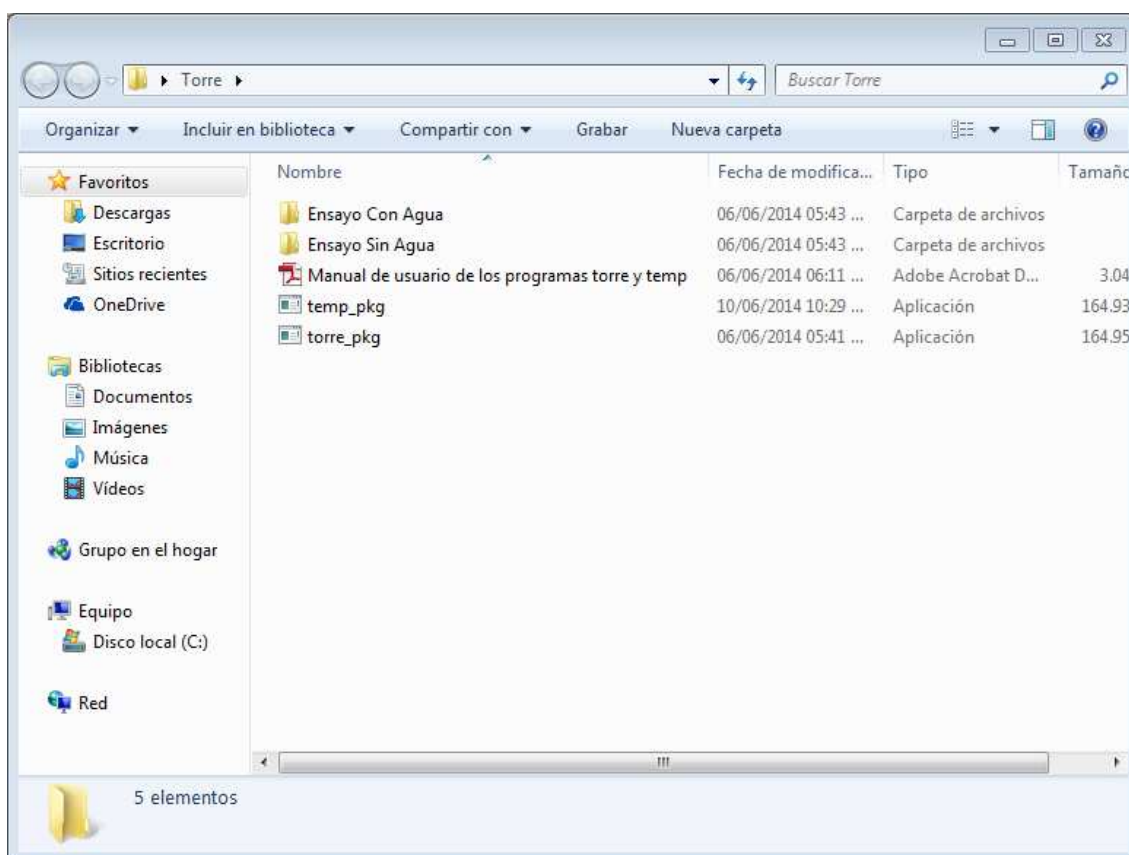


Fig.A1 – Directorio Torre que incluye los paquetes de instalación *torre\_pkg*, *temp\_pkg* y las carpetas de *Ensayo Con Agua* y *Ensayo Sin Agua*

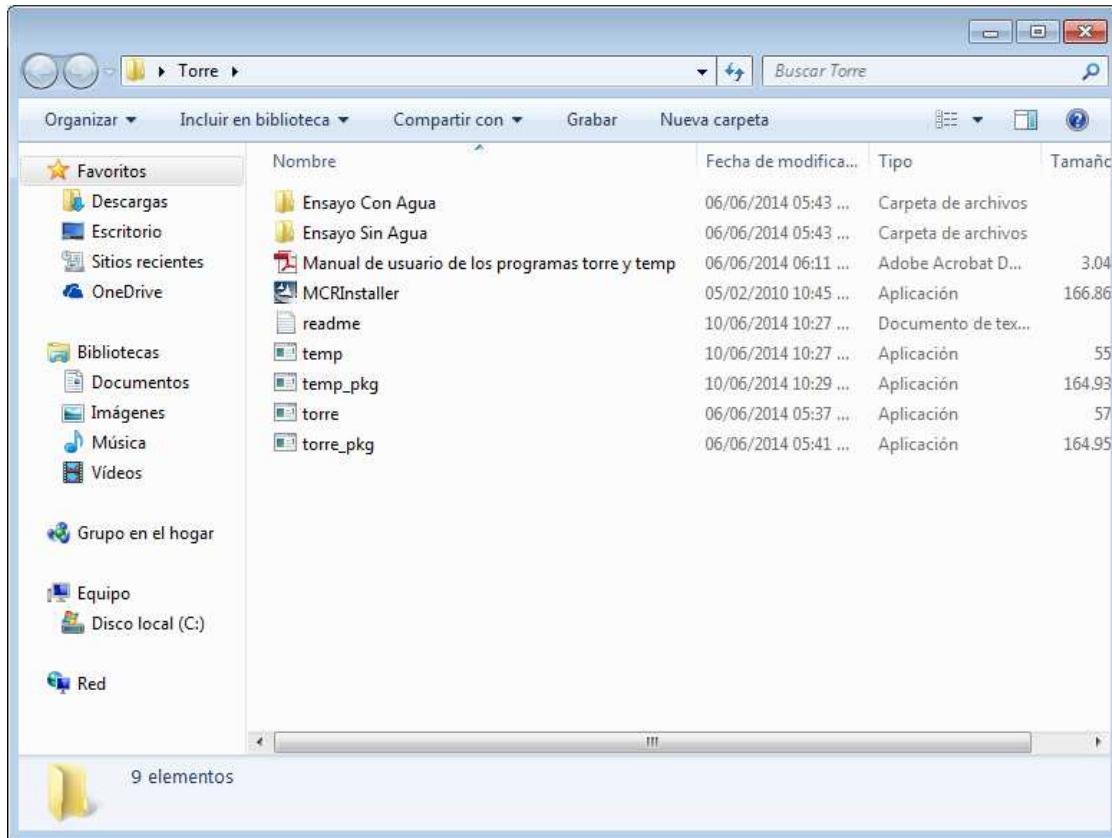


Fig.A2 – Directorio Torre con los programas “torre”, “temp”, y MCR instalados

### A3. Libros de trabajo de Excel utilizados por los programas

El código informático “torre” utiliza libros de trabajo de Excel denominados:

- ADQUI (la cantidad depende del número de ensayos realizados).
- *Datos de Ensayo* (un solo libro de trabajo).
- *Resultados Con Agua o Resultados Sin Agua* (un solo libro de trabajo).

Antes de empezar a trabajar con “torre”, los libros de trabajo mencionados anteriormente deben estar, dependiendo del tipo de ensayo realizado, en la carpeta *Ensayo Con Agua* o *Ensayo Sin Agua*. A continuación se esquematiza el contenido de estas carpetas con los libros de trabajo de Excel correspondiente a cada caso.

- *Ensayo Con Agua:*
  - ◆ Libros de trabajo ADQUI (la cantidad depende de las velocidades o caudales de agua ensayados)
  - ◆ Un libro de trabajo *Datos de Ensayo*.
  - ◆ Un libro de trabajo *Resultados Con Agua*.
  
- *Ensayo Sin Agua:*
  - ◆ Libros de trabajo ADQUI (la cantidad depende de las velocidades o caudales de agua ensayados)
  - ◆ Un libro de trabajo *Datos de Ensayo*.
  - ◆ Un libro de trabajo *Resultados Sin Agua*.

Se remarca que la extensión de todos estos libros de trabajo de Excel debe ser *.xlsx*.

En la *Fig.A3* se observa, a modo de ejemplo, el contenido de la carpeta *Ensayo Con Agua*, antes de ser procesado con “torre”, para un ensayo de la torre de tiro inducido realizado con agua a 4 velocidades distintas.

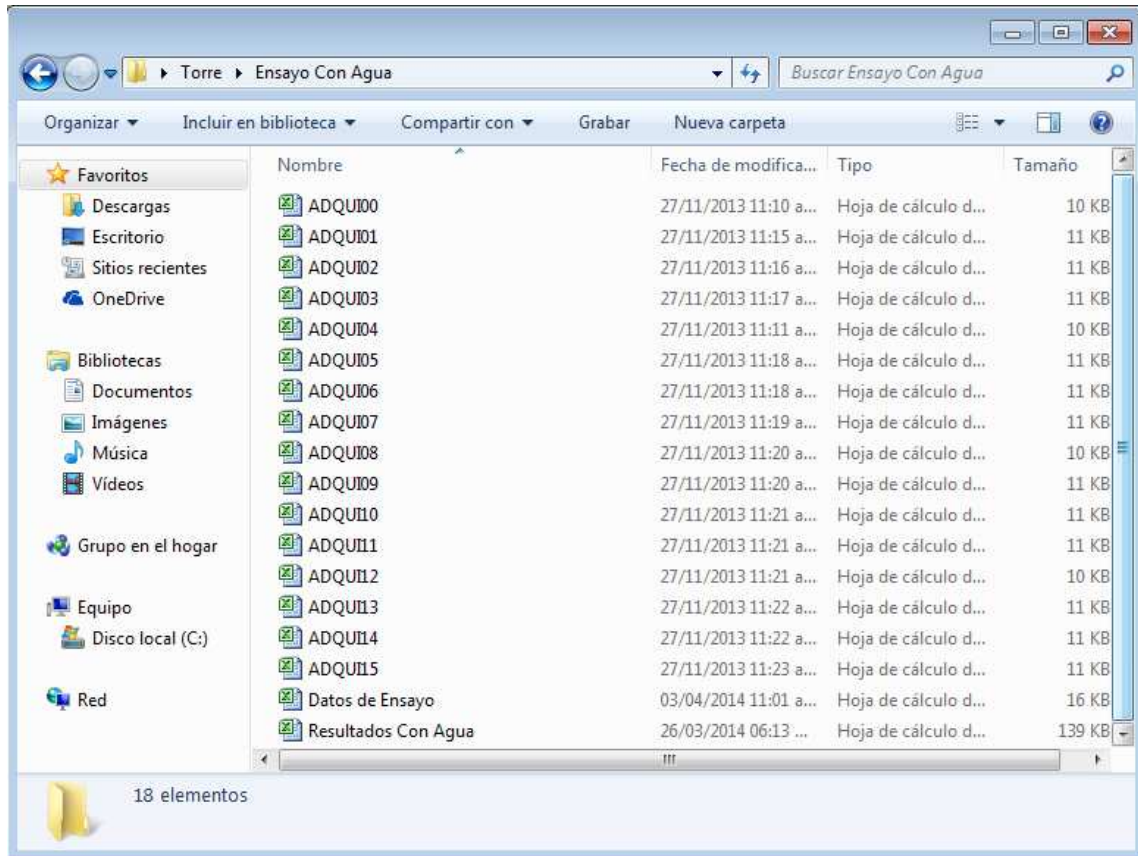


Fig.A3 – Contenido de la carpeta Ensayo Con Agua antes de ser procesado con “torre”

### A3.1 Libros de trabajo ADQUI

Con el fin de que “torre” no presente errores a la hora de leer los libros de trabajo ADQUI se definen los siguientes pasos a seguir una vez finalizada la toma de datos:

1. Comprobar que la cantidad de archivos ADQUI, arrojados por el sistema de adquisición de datos (SAD), sea de 4 por cada velocidad o caudal de agua ensayado. El 1<sup>ero</sup> para el error a cero inicial, el 2<sup>do</sup> para dar el tiempo necesario para que se establezcan los parámetros medidos, el 3<sup>ro</sup> para las mediciones propiamente dichas, y el 4<sup>to</sup> para el error a cero final. Por ejemplo, en la Fig.A3 se observa que a la primera velocidad le corresponden las planillas ADQUI00, ADQUI01, ADQUI02 y ADQUI03.
2. Abrir el ADQUI con Excel y asegurarse de que la cantidad de lecturas realizadas complete todas las celdas desde B6 a I17, Fig.A4, si falta algún valor “torre” tendrá un error al tratar de leer el libro de trabajo ADQUI y se cerrará.

3. Cerrar el ADQUI, guardarlo con su mismo nombre (ADQUI00, ADQUI01, etc.) y la extensión *.xlsx*. Si se cambia el nombre o la extensión “torre” no podrá leer el libro de trabajo ADQUI.
4. Revisadas y guardadas todos los libros de trabajo ADQUI, copiarlos en la carpeta correspondiente al tipo de ensayo realizado (*Ensayo Con Agua* o *Ensayo Sin Agua*).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2										
3						Archivo Hist	21/09/2013			
4										
5		Thw1	Tcw1	Twb1	Tdb1	Qi1	Rpm1	Pot1	Pot2	
6	10:51:59	27,22	23,07	7,805	14,955	6,048	16,321	0,156	0,131	
7	10:52:21	27,25	23,16	7,82	14,97	6,037	16,321	0,221	0,151	
8	10:52:43	27,25	23,205	7,79	15,015	6,047	16,321	0,196	0,132	
9	10:53:05	27,25	23,235	7,79	15,0675	6,044	16,323	0,207	0,146	
10	10:53:27	27,235	23,175	7,79	15,08	6,025	16,323	0,21	0,144	
11	10:53:49	27,235	23,115	7,82	15,0375	6,027	16,322	0,2	0,153	
12	10:54:11	27,235	23,01	7,82	14,955	6,029	16,321	0,229	0,141	
13	10:54:33	27,22	23,07	7,82	14,97	6,021	16,322	0,231	0,156	
14	10:54:55	27,19	23,07	7,842	15,015	6,019	16,322	0,224	0,156	
15	10:55:17	27,19	23,085	7,85	15,0675	6,012	16,321	0,226	0,151	
16	10:55:39	27,22	23,07	7,85	15,08	6,036	16,321	0,223	0,157	
17	10:56:01	27,19	23,07	7,85	15,0375	6,028	16,322	0,226	0,147	
18										

Fig.A4 – Ejemplo de un archivo ADQUI de un ensayo

### A3.2 Libro de trabajo *Datos de Ensayo*

Para que “torre” no presenten errores, cuando lea el libro de trabajo *Datos de Ensayo*, se deben cumplir los siguientes ítems:

- Llenar las celdas correspondientes a los coeficientes (a1, b1, a2, b2, a3, b3, a4, b4) de las funciones de transferencia de los sensores, ubicados en la hoja de cálculo denominada *coeficientes* de dicho libro de trabajo, *Fig.A5* y *Fig.A6*. Si falta alguno de estos valores “torre” no podrá leer el libro de trabajo *Datos de Ensayo*.
- El libro de trabajo *Datos de Ensayo* trae por defecto 4 hojas de cálculo denominadas *variable* (*variable 1*, *variable 2*, *variable 3* y *variable 4*), en cada una de ellas se colocan los datos de Fecha, Temperatura, Presión, Hora de Inicio/Fin, Frecuencia, Potencia, r.p.m y Variable, correspondientes estos a un valor de la variable de ensayo (velocidad del aire o caudal de agua), siendo el formato de estas hojas de cálculo el mismo que el que se observa en la hoja de cálculo *variable 1* en la *Fig.A7*. Dependiendo de la cantidad de variables de ensayo, se deben llenar la cantidad de

hojas de cálculo *variable* correspondientes, con los datos antes mencionados, empezando por la hoja de cálculo *variable 1*, y siguiendo en orden creciente. Por ejemplo si se ensayan 3 velocidades, se debe llenar la hoja de cálculo *variable 1* con los datos de la 1<sup>er</sup> velocidad, la hoja de cálculo *variable 2* con los datos de la 2<sup>da</sup> velocidad, y la hoja de cálculo *variable 3* con los datos de la 3<sup>er</sup> velocidad, no teniendo importancia la hoja de cálculo *variable 4* para este caso.

- En el caso de que se ensayen más de 4 variables, se deben agregar más hojas de cálculo *variable*, y copiar en estas el mismo formato que el observado en la hoja de cálculo *variable 1*, Fig.A7, para luego llenar las celdas con los datos correspondientes a cada variable. Por ejemplo si se ensayan 6 caudales de agua se deben agregar las hojas de cálculo *variable 5* y *variable 6* a las 4 hojas de cálculo *variable* existentes, luego copiar el formato de la hoja de cálculo *variable 1* en las nuevas hojas de cálculo, y finalmente llenar cada una de las hojas de cálculo *variable* con los datos correspondientes al caudal de agua respectivo.
- Al agregar una nueva hoja de cálculo siempre se debe escribir su nombre, en la pestaña respectiva, de la forma como se muestra en la Fig.A7, ya que en caso contrario “torre” no podrá leer estas hojas de cálculo.
- No se deben cambiar los nombres de las hojas de cálculo *coeficientes* y *variable*, ya que en caso contrario “torre” no podrá leerlas.
- No se debe cambiar el nombre al libro de trabajo *Datos de Ensayo*, ya que “torre” está programado para leer ese nombre.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>Funcion de Transferencia del Sensor 1, <math>\Delta P_T</math></b>					<b>Funcion de Transferencia del Sensor 2, <math>\Delta P_A</math></b>			
2									
3		$\Delta P_T [Pa] = a1 * \Delta P_T [mA] + b1$					$\Delta P_A [Pa] = a2 * \Delta P_A [mA] + b2$		
4									
5		a1	59,751				a2	59,547	
6		b1	20,607				b2	19,437	
7									
8									
9									
10									

coeficientes variable 1 variable 2 variable 3 variable 4

Fig.A5 – Coeficientes de las funciones de transferencia de los sensores 1 y 2



	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	<b>Funcion de Transferencia del Sensor 3, P<sub>atm</sub></b>					<b>Funcion de Transferencia de Presion Dinamica, q</b>			
2									
3	$P_{atm} [Pa] = a3 * P_{atm} [mA] + b3$					$q [Pa] = a4 * q [mA] + b4$			
4									
5	a3	4322				a4	0,876		
6	b3	26086				b4	0,329		
7									
8									
9									
10									

Fig.A6 – Coeficientes de las funciones de transferencia del sensor 3 y q

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	<b>Fecha</b>	21/09/2013		<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Presión [mmHg]</b>	<b>Inicio/Fin</b>	<b>Variable</b>	
2				15	731,15	10:51	1,4	
3				15	731,15	11:13		
4								
5								
6		<b>Archivo</b>	<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>Potencia [kW]</b>	<b>r.p.m</b>			
7		adqui22	15,2	0,183	897,6			
8								
9								
10								
11								

Fig.A7 – Datos medidos para un determinado valor de la variable de ensayo

### A3.3 Libros de trabajo de Resultados

Se tienen dos tipos de libros de trabajo de resultados, una para cada tipo de ensayo realizado, a saber:

- *Resultados Con Agua* (ubicado en la carpeta *Ensayos Con Agua*), Fig.A8.
- *Resultados Sin Agua* (ubicado en la carpeta *Ensayos Sin Agua*), Fig.A9.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1															
2															
3		<b>TORRE DE TIRO</b>		<b>INDUCIDO</b>											
4															
5															
6		<b>Fecha :</b>													
7															
8		<b>Caudal nominal de agua:</b>		6000		[l/h]									
9															
10		<b>Tipo de relleno :</b>		Salpicado (DZ)											
11															
12		<b>Nº de capas :</b>		2											
13															

Fig.A8 – Ejemplo del libro de trabajo Resultados Con Agua

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3		<b>TORRE DE TIRO</b>		<b>INDUCIDO</b>								
4												
5												
6		<b>Fecha :</b>				//						
7												
8		<b>Caudal nominal de agua:</b>				0		[l/h]				
9												
10		<b>Tipo de relleno :</b>				Tubos						
11												
12		<b>Nº de capas :</b>				1						
13												

Fig.A9 – Ejemplo del libro de trabajo Resultados Sin Agua

La diferencia entre ambos radica en que el libro de trabajo *Resultados Con Agua* tiene además las siguientes pestañas:

- *Ensayo* (para el cálculo del número de unidades de difusión  $\eta_d$ ).
- *QP Vs L/G* (grafico).
- *DP<sub>T</sub> Vs L/G* (grafico).
- *$\tau$  Vs L/G* (grafico)

Si bien en estos libros de trabajo no se cargan los datos manualmente, ya que “torre” se encarga de llenarlos automáticamente, se deben tener en cuenta los siguientes ítems:

- No cambiar el nombre de ninguna de las hojas de calculo que componen a estos libros de trabajo, ya que en caso contrario “torre” no podra tomar los datos de las mismas.
- No cambiar el nombre de los libros de trabajo *Resultados Con Agua* y *Resultados Sin Agua*, ya que “torre” esta programado para leer esos nombres.
- Al finalizar la ejecución de “torre”, se debe copiar el libro de trabajo de resultados y pegarlo en otro directorio, ya que la próxima vez que se ejecute “torre” se escribirán los valores de un nuevo ensayo, al reemplazarse los ADQUI.

### A3.4 Libros de trabajo utilizados por “temp”

Como “temp” solo lee y grafica las temperaturas medidas, las únicas consideraciones que se deben tener en cuenta son las referentes a los libros de trabajo ADQUI, las cuales están expresadas en el punto 3.1.

## A4. Trabajando con “torre”

### A4.1 Consideraciones previas a ejecutar “torre”

Cuando se ejecuta por primera vez “torre”, haciendo doble clic sobre la aplicación *torre.exe*, Fig.A2, se abre una ventana como la mostrada en la Fig.A10.



Fig.A10 – Ventana que se abre al ejecutarse por primera vez “torre”

Como se observa en figura anterior, se tiene que las palabras salen cortadas, esto se debe a que el tamaño del búfer de pantalla y tamaño de la ventana son pequeños. Para poder solucionar este inconveniente se debe hacer clic sobre el icono marcado con un ovalo rojo, Fig.A11, luego seleccionar *Propiedades*, y en la pestaña *Diseño* de la nueva ventana abierta colocar los siguientes valores, Fig.A12:

- Tamaño de búfer de pantalla: Ancho 170 y Alto 300
- Tamaño de la ventana : Ancho 170 y Alto 50

Luego se da clic en aceptar, se cierra la ventana, y se vuelve a ejecutar “torre”, quedando el inconveniente solucionado, Fig.A13.

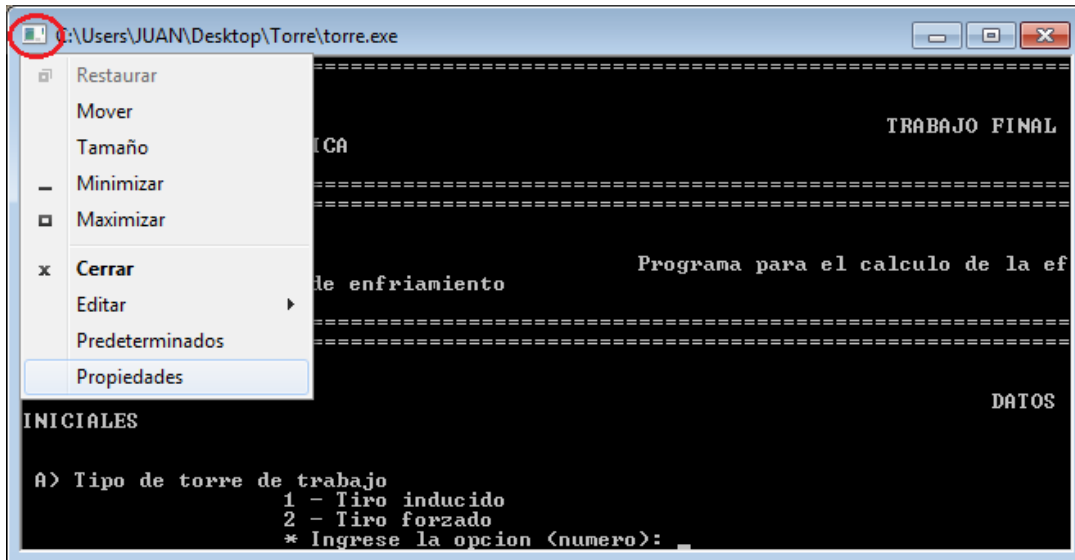


Fig.A11 – Ovalo rojo indicando el icono que contiene las propiedades de pantalla

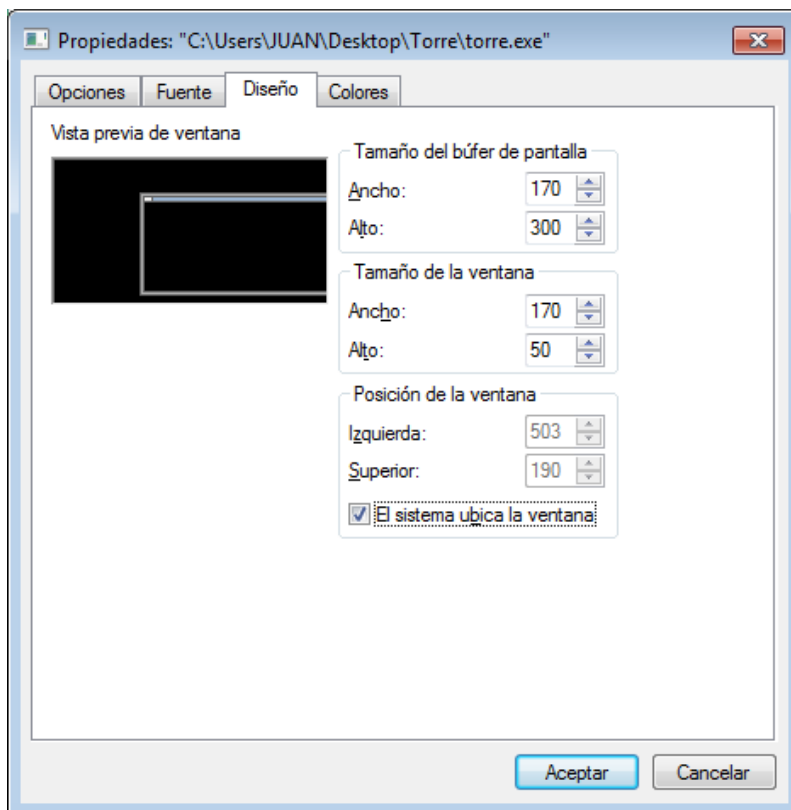


Fig.A12 – Valores a colocar en la pestaña diseño para tener el tamaño correcto de la ventana de trabajo de “torre”

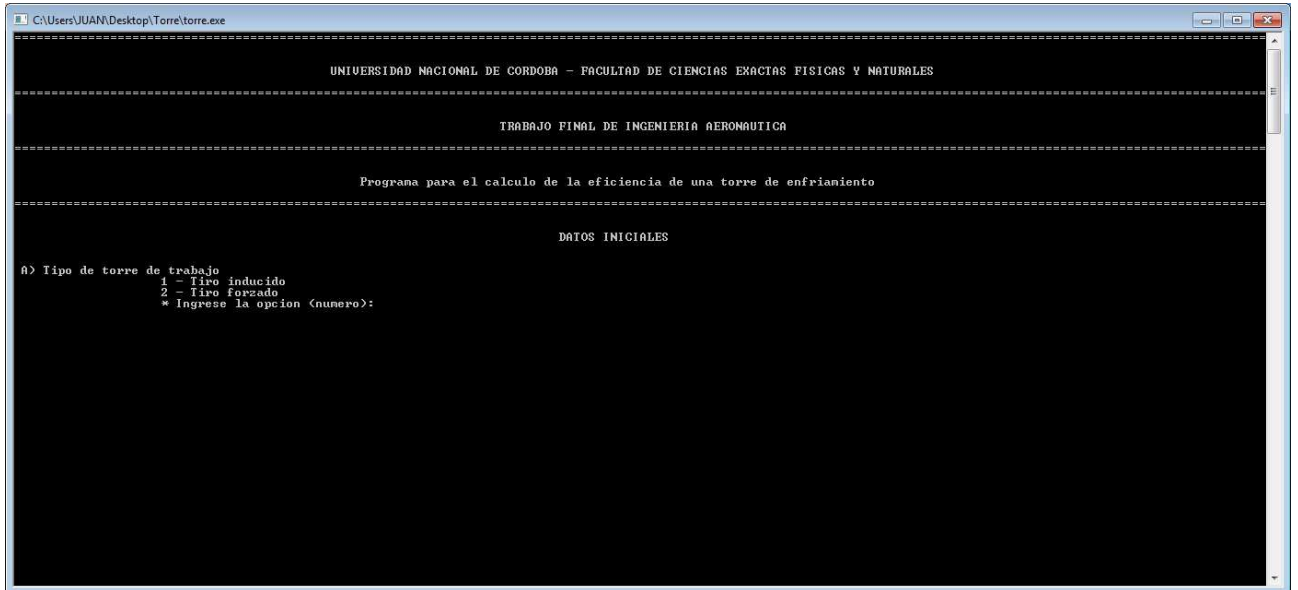


Fig.A13 – Ventana de trabajo de “torre” con el tamaño correcto

#### A4.2 Ejemplo de utilización de “torre”

Para mostrar cómo se trabaja con “torre”, se desarrolla a continuación un ejemplo para un ensayo con flujo de agua en la torre de enfriamiento de tiro inducido, con 2 capas de relleno salpicado (n) y un caudal nominal de agua de 6000 [l/h].

Primeramente, como se mencionó anteriormente, se deben copiar los libros de trabajo ADQUI en la carpeta correspondiente al tipo de ensayo realizado (*Ensayo Con Agua o Ensayo Sin Agua*), la cual contiene los libros de trabajo *Resultados (Con Agua o Sin Agua)* y *Datos de Ensayo*, debiéndose llenar esta última con los datos correspondientes al ensayo a procesar. Luego se ejecuta “torre” haciendo doble clic sobre la aplicación *torre.exe*, Fig.A2, con lo cual se abre la ventana de trabajo de “torre”, Fig.A13. Ampliando dicha ventana, Fig.A14, se observa que lo primero que pregunta es el tipo de torre de trabajo, dando como opciones tiro inducido (1) o tiro forzado (2). En este caso se selecciona la de tiro inducido ingresando el número 1, en donde dice *ingrese la opción*, y luego se da *enter*.

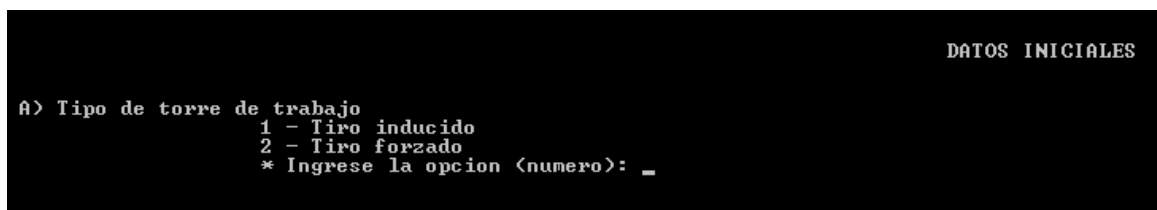


Fig.A14 – Selección del tipo de torre de trabajo

La segunda pregunta que hace “torre” es el tipo de ensayo, Fig.A15, es decir si el ensayo es sin agua (1) o con agua (2). En este caso se selecciona el ensayo con agua ingresando el número 2, en donde dice *ingrese la opción*, y luego se da *enter*.

```
DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion <numero>: 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion <numero>: 2
```

Fig.A15 – Selección del tipo de ensayo realizado

A continuación se ingresan los datos referidos al relleno utilizado en el ensayo, preguntando primeramente que relleno se usó, Fig.A16, dando como opciones: sin relleno (1), placas (2), película (3), tubos (4), y salpicado (5). En este caso se selecciona salpicado ingresando el número 5, en donde dice *ingrese la opción*, y luego se da *enter*.

```
DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion <numero>: 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion <numero>: 2

C) Relleno
   * Seleccione el relleno:
     1 - Sin relleno
     2 - Placas
     3 - Pelicula
     4 - Tubos
     5 - Salpicado
   * Ingrese la opcion <numero>: 5
```

Fig.A16 – Selección del relleno utilizado

Con el relleno seleccionado “torre” pregunta cuantas capas del mismo son las utilizadas, Fig.A17. En este caso se escribe el numero 2 (por trabajar con 2 capas), en donde dice *ingrese el número de capas de relleno utilizado*, y luego se da *enter*.

```
DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion <numero>: 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion <numero>: 2

C) Relleno
   * Seleccione el relleno:
     1 - Sin relleno
     2 - Placas
     3 - Pelicula
     4 - Tubos
     5 - Salpicado
   * Ingrese la opcion <numero>: 5

   * Ingrese el numero de capas de relleno utilizado:
```

Fig.A17 – Ingreso de la cantidad de capas de relleno utilizado

Por el tipo de torre de trabajo seleccionado (tiro inducido), “torre” pide el ingreso de los datos referentes a la velocidad del aire, siendo esta la variable. Si el tipo de torre de trabajo seleccionado fuese la de tiro forzado la variable seria el caudal de agua. En este caso “torre” pregunta primeramente cuantas son las velocidades de aire de ensayo, *Fig.A18*. Para este ejemplo se escribe el numero 4 (por tener 4 velocidades de ensayo), en donde dice *ingrese la cantidad de velocidades ensayadas*, y luego se da *enter*.

Como la velocidad es la variable, “torre” pregunta a continuación cual es el caudal nominal de agua ensayado, *Fig.A19*, siendo este la constante. . Si el tipo de torre de trabajo seleccionado fuese la de tiro forzado la constante seria la velocidad del ventilador. Para este ejemplo se escribe el numero 6000 (por que se trabaja con un caudal de agua de 6000 [l/h]), en donde dice *ingrese el caudal nominal de agua en [l/h]*, y luego se da *enter*.

Luego “torre” comienza el procesamiento de los datos. Esto puede tardar varios minutos dependiendo de la velocidad del procesador de la computadora.

```

DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion <numero>: 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion <numero>: 2

C) Relleno
   * Seleccione el relleno:
       1 - Sin relleno
       2 - Placas
       3 - Pelicula
       4 - Tubos
       5 - Salpicado
   * Ingrese la opcion <numero>: 5

   * Ingrese el numero de capas de relleno utilizado: 2

D) Velocidades Ensayadas
   * Ingrese la cantidad de velocidades ensayadas:

```

Fig.A18 – Ingreso de la cantidad de velocidades ensayadas

```

DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion <numero>: 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion <numero>: 2

C) Relleno
   * Seleccione el relleno:
       1 - Sin relleno
       2 - Placas
       3 - Pelicula
       4 - Tubos
       5 - Salpicado
   * Ingrese la opcion <numero>: 5

   * Ingrese el numero de capas de relleno utilizado: 2

D) Velocidades Ensayadas
   * Ingrese la cantidad de velocidades ensayadas: 4

=====

ENSAYO CON AGUA

   * Ingrese el caudal nominal de agua ensayado en [l/h]:

```

Fig.A19 – Ingreso del caudal nominal de agua ensayado en

El procesamiento de los datos finaliza cuando en la ventana de trabajo de “torre” aparece una tabla con los resultados, Fig.A20, junto con los gráficos correspondientes, que para este caso son:  $\eta_d$  vs  $V_m$ ,  $QP$  vs  $V_m$ ,  $DP_T$  vs  $V_m$ ,  $\tau$  vs  $V_m$ ,  $\eta_d$  vs  $L/G$  (Fig.21),  $QP$  vs  $L/G$ ,  $DP_T$  vs  $L/G$ ,  $\tau$  vs  $L/G$ .



ENSAYO CON AGUA									
* Ingrese el caudal nominal de agua ensayado en [L/h]: 6000									
RESULTADOS									
Velocidad [m/s]	L/G [adin]	Eta_d [adin]	CT [m/h]	QP [adin]	W [kW]	Wg [(m <sup>3</sup> )/s]	Un [m/s]	DPt [Pa]	Tau[adin]
1.40	1.9674	0.4648	11.6340	217.4101	0.1830	0.7295	1.4072	-32.9676	28.5154
1.75	1.5953	0.5343	11.6121	150.4163	0.2540	0.9040	1.7437	-48.8813	27.5353
2.33	1.1835	0.6521	11.5955	115.4213	0.4410	1.2072	2.3286	-85.6481	27.9535
2.92	0.9431	0.7756	11.5771	100.5725	0.7580	1.5139	2.9203	-138.5377	27.8258

Fig.A20 – Resultados obtenidos al finalizar “torre”

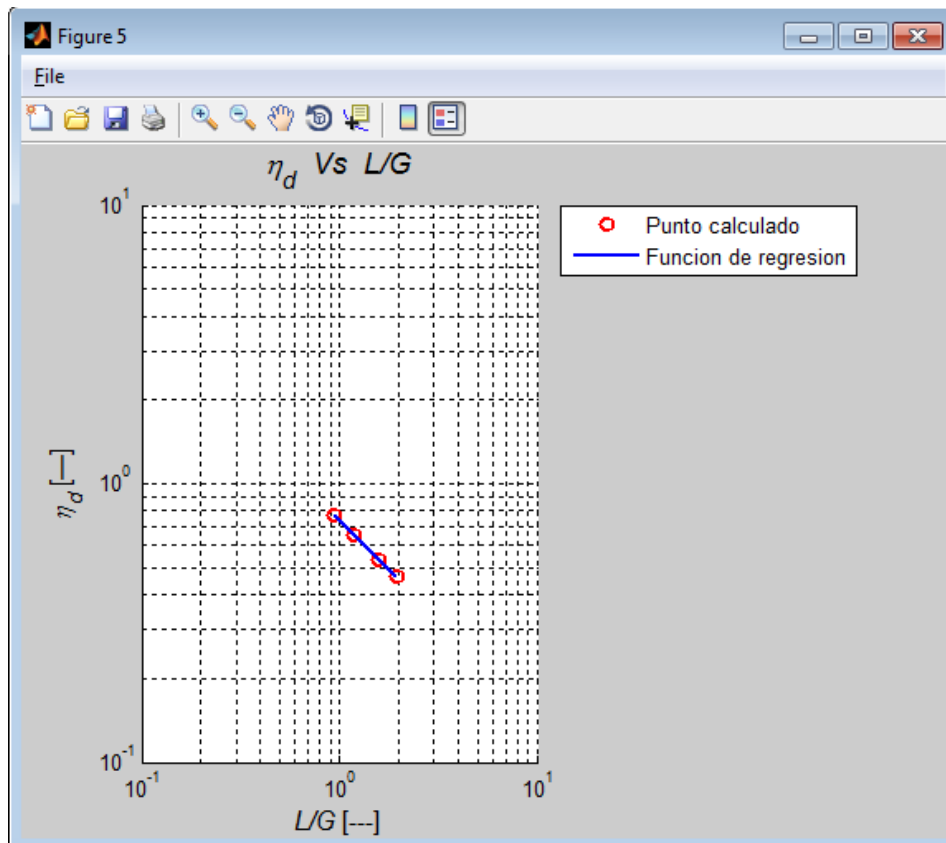


Fig.A21 – Grafico resultado de “torre”,  $\eta_d$  vs  $L/G$

A continuación se cierra la ventana de trabajo, se copia el libro de trabajo de resultados (*Resultados Con Agua* contenido en la carpeta *Ensayo Con Agua* para este caso), Fig.A3, en otra carpeta cualquiera para no perder la información, ya que al ejecutarse nuevamente “torre” se sobrescribirán los resultados. Con esto se finaliza el procedimiento utilizado para trabajar con “torre”.

## A5. Trabajando con “temp”

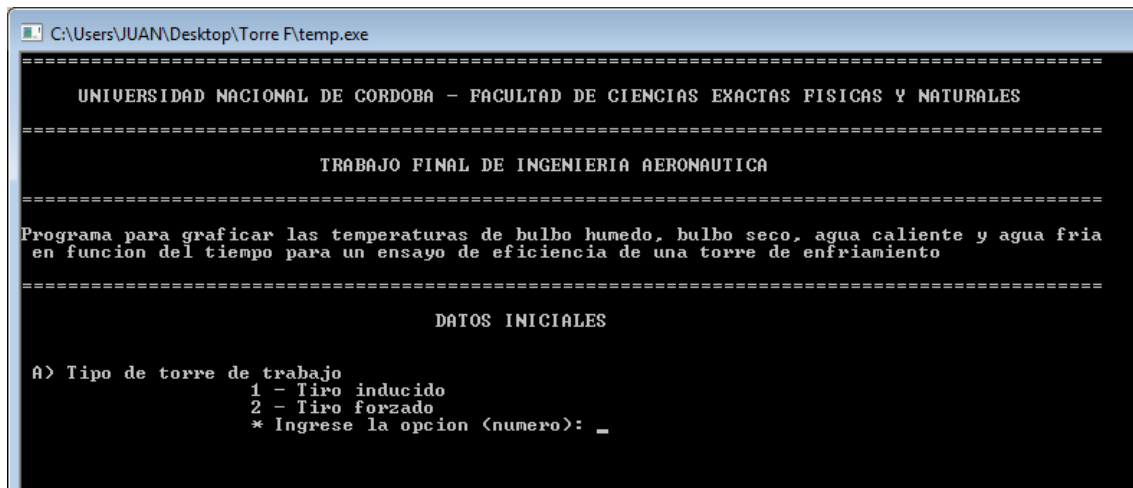
### A5.1 Consideraciones previas a ejecutar “temp”

Se deben tomar las mismas consideraciones expresadas en el punto A4.1.

### A5.2 Ejemplo de utilización de “temp”

Para mostrar cómo se trabaja con “temp”, se desarrolla a continuación un ejemplo para un ensayo con flujo de agua en la torre de enfriamiento de tiro inducido, con 2 capas de relleno salpicado (n) y un caudal nominal de agua de 6000 [l/h].

Primeramente, como se mencionó anteriormente, se deben copiar los libros de trabajo ADQUI en la carpeta correspondiente al tipo de ensayo realizado (*Ensayo Con Agua o Ensayo Sin Agua*). Luego se ejecuta “temp” haciendo doble clic sobre la aplicación *temp.exe*, Fig.A2, con lo cual se abre la ventana de trabajo de “temp”, Fig.A22, y se observa que lo primero que pregunta es el tipo de torre de trabajo, dando como opciones tiro inducido (1) o tiro forzado (2). En este caso se selecciona la de tiro inducido ingresando el número 1, en donde dice *ingrese la opción*, y luego se da *enter*.



```
C:\Users\JUAN\Desktop\Torre F\temp.exe
=====
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA - FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES
=====
TRABAJO FINAL DE INGENIERIA AERONAUTICA
=====
Programa para graficar las temperaturas de bulbo humedo, bulbo seco, agua caliente y agua fria
en funcion del tiempo para un ensayo de eficiencia de una torre de enfriamiento
=====
DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion <numero>: _
```

Fig.A22 - Selección del tipo de torre de trabajo

La segunda pregunta que hace “torre” es el tipo de ensayo, Fig.A23, es decir si el ensayo es sin agua (1) o con agua (2). En este caso se selecciona el ensayo con agua ingresando el número 2, en donde dice *ingrese la opción*, y luego se da *enter*.

```
C:\Users\JUAN\Desktop\Torre F\temp.exe
=====
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA – FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES
=====
TRABAJO FINAL DE INGENIERIA AERONAUTICA
=====
Programa para graficar las temperaturas de bulbo humedo, bulbo seco, agua caliente y agua fria
en funcion del tiempo para un ensayo de eficiencia de una torre de enfriamiento
=====
DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion <numero>: 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion <numero>:
```

Fig.A23 – Selección del tipo de ensayo realizado

Por el tipo de torre de trabajo seleccionado (tiro inducido), “temp” pide el ingreso de los datos referentes a la velocidad del aire, siendo esta la variable. Si el tipo de torre de trabajo seleccionado fuese la de tiro forzado la variable seria el caudal de agua. En este caso “temp” pregunta primeramente cuantas son las velocidades de aire de ensayo, Fig.A24. Para este ejemplo se escribe el numero 4 (por tener 4 velocidades de ensayo), en donde dice *ingrese la cantidad de velocidades ensayadas*, y luego se da enter.

```
C:\Users\JUAN\Desktop\Torre F\temp.exe
=====
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA – FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES
=====
TRABAJO FINAL DE INGENIERIA AERONAUTICA
=====
Programa para graficar las temperaturas de bulbo humedo, bulbo seco, agua caliente y agua fria
en funcion del tiempo para un ensayo de eficiencia de una torre de enfriamiento
=====
DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion <numero>: 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion <numero>: 2

C) Velocidades Ensayadas
   * Ingrese la cantidad de velocidades ensayadas: _
```

Fig.A24 – Ingreso de la cantidad de velocidades ensayadas

Con la cantidad de velocidades ya indicadas “temp” pide que se ingresen los valores de dichas velocidades en orden creciente y en [m/s], Fig.A25, ya que los datos de los ensayos fueron obtenidos variando las velocidades en ese orden, por lo cual los mismos se encuentran almacenados, en esa disposición, en los libros de trabajo ADQUI. Para este caso se escriben los siguientes valores de velocidad:

- Velocidad 1: 1.4
- Velocidad 2: 1.75
- Velocidad 3: 2.33
- Velocidad 4: 2.92

```
C:\Users\JUAN\Desktop\Torre F\temp.exe
=====
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA - FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES
=====
TRABAJO FINAL DE INGENIERIA AERONAUTICA
=====
Programa para graficar las temperaturas de bulbo humedo, bulbo seco, agua caliente y agua fria
en funcion del tiempo para un ensayo de eficiencia de una torre de enfriamiento
=====
DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion (numero): 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion (numero): 2

C) Velocidades Ensayadas
   * Ingrese la cantidad de velocidades ensayadas: 4
   * Ingrese los valores de la o las velocidades en orden creciente en [m/s]
   - Velocidad 1:
```

Fig.A25 – Ingreso de las velocidades ensayadas en orden creciente y en [m/s]

Para poder graficar la evolución de las temperaturas durante el ensayo “temp” pregunta a continuación cual es el intervalo de tiempo entre los puntos registrados, Fig.A26, es decir cuantos segundos hay entre una toma de datos y la siguiente. Este intervalo de tiempo se obtiene abriendo un libro de trabajo ADQUI cualquiera y observando, en la columna que indica el tiempo, la cantidad de segundos que hay entre tomas. Para este ejemplo se escribe el número 18 en donde dice *ingrese el intervalo de tiempo entre puntos medidos*, y luego se da *enter*.

```

C:\Users\JUAN\Desktop\Torre F\temp.exe
=====
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA - FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS FISICAS Y NATURALES
=====
TRABAJO FINAL DE INGENIERIA AERONAUTICA
=====
Programa para graficar las temperaturas de bulbo humedo, bulbo seco, agua caliente y agua fria
en funcion del tiempo para un ensayo de eficiencia de una torre de enfriamiento
=====
DATOS INICIALES

A) Tipo de torre de trabajo
   1 - Tiro inducido
   2 - Tiro forzado
   * Ingrese la opcion (numero): 1

B) Tipo de ensayo realizado
   1 - Sin agua
   2 - Con agua
   * Ingrese la opcion (numero): 2

C) Velocidades Ensayadas
   * Ingrese la cantidad de velocidades ensayadas: 4
   * Ingrese los valores de la o las velocidades en orden creciente en [m/s]
     - Velocidad 1: 1.4
     - Velocidad 2: 1.75
     - Velocidad 3: 2.33
     - Velocidad 4: 2.92

D) Intervalo de tiempo
   * Ingrese el intervalo de tiempo entre puntos medidos en [s]: _
    
```

Fig.A26 – Ingreso del intervalo de tiempo entre puntos medidos

Como la velocidad es la variable, “temp” pregunta a continuación cual es el caudal nominal de agua ensayado, Fig.A27, siendo este la constante. Si el tipo de torre de trabajo seleccionado fuese la de tiro forzado la constante seria la velocidad del ventilador. Para este ejemplo se escribe el numero 6000 (por que se trabaja con un caudal de agua de 6000 [l/h]), en donde dice *ingrese el caudal nominal de agua en [l/h]*, y luego se da *enter*.

Luego “temp” comienza el procesamiento de los datos. Esto puede tardar varios minutos dependiendo de la velocidad del procesador de la computadora.

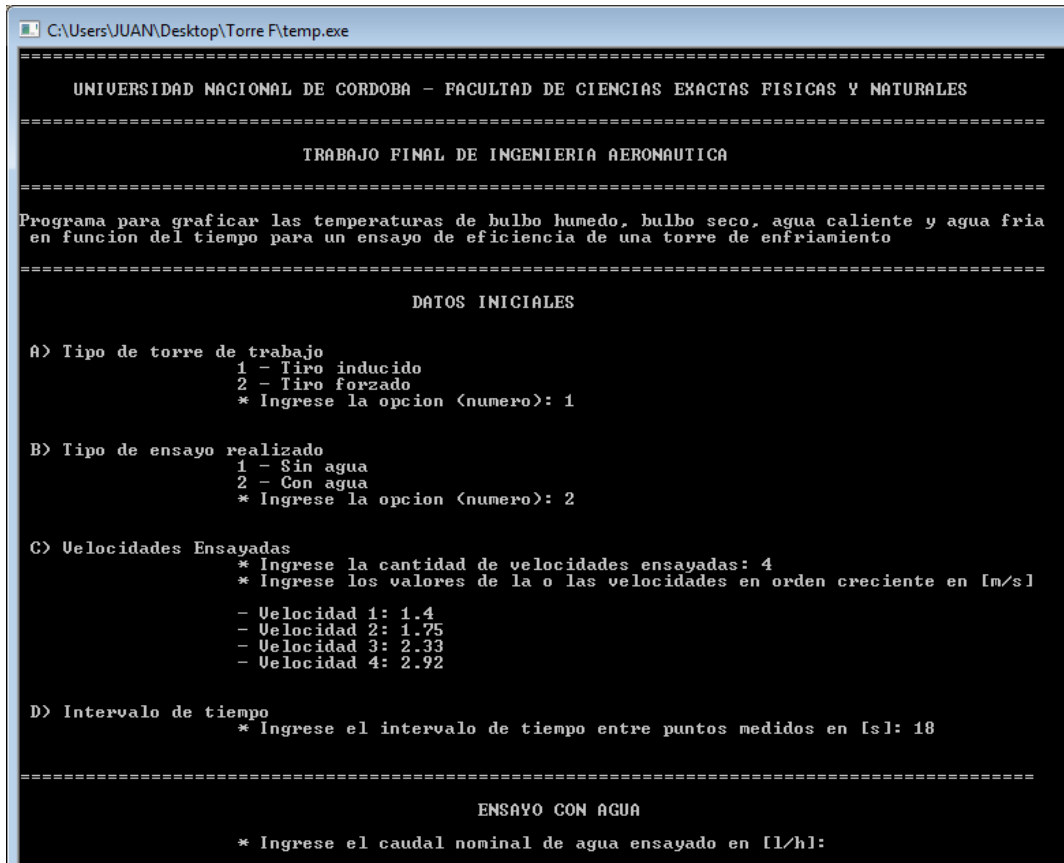


Fig.A27 – Ingreso del caudal nominal de agua ensayado en [l/h]

El programa finaliza cuando aparecen los gráficos de temperatura en función del tiempo correspondientes a cada una de las velocidades de ensayo, Fig.A28.

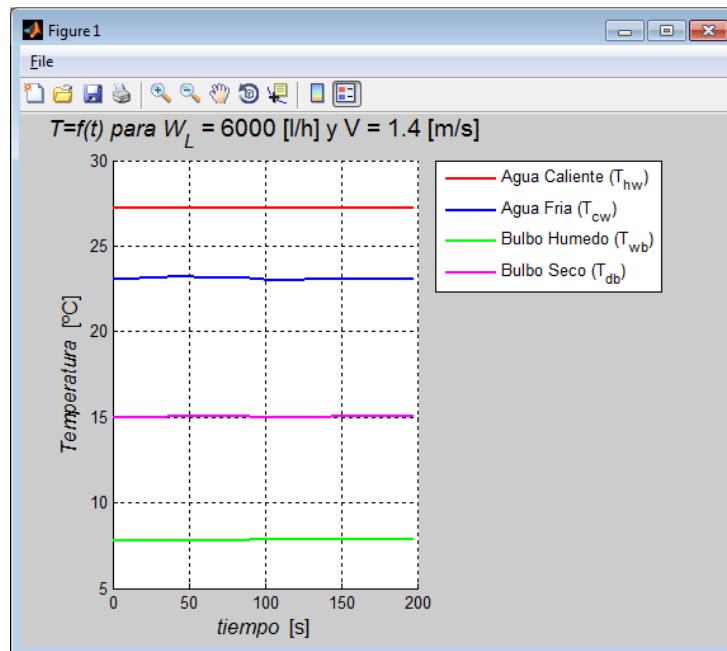


Fig.28 – Grafico resultado de temperatura en función del tiempo

## ANEXO B

## Planillas resumen

## Contenido

B1. Resultados de caudal de aire.....	117
B1.1 Sin relleno.....	117
<i>Tabla B.1 – Resultados caudal de aire sin relleno.....</i>	117
<i>Tabla B.2 - Cálculo de presiones sin relleno fijando el caudal de agua en 5000 [l/h] .....</i>	117
<i>Tabla B.3 - Cálculo de presiones sin relleno fijando el caudal de agua en 7000 [l/h] .....</i>	118
<i>Tabla B.4 - Cálculo de presiones sin relleno fijando el caudal de agua en 9000 [l/h] .....</i>	118
<i>Tabla B.5 - Cálculo de presiones sin relleno fijando el caudal de agua en 11000 [l/h] .....</i>	119
B1.2 Relleno salpicado en (u), 1 capa.....	119
<i>Tabla B.6 - Resultados caudal de aire con 1 capa de relleno salpicado (u).....</i>	119
<i>Tabla B.7 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (u) fijando el caudal de agua en 5000 [l/h] .....</i>	120
<i>Tabla B.8 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (u) fijando el caudal de agua en 7000 [l/h] .....</i>	120
<i>Tabla B.9 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (u) fijando el caudal de agua en 9000 [l/h] .....</i>	121
<i>Tabla B.10 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (u) fijando el caudal de agua en 11000 [l/h] .....</i>	121
B1.3 Relleno salpicado en (u), 2 capas .....	122
<i>Tabla B.11 - Resultados caudal de aire con 2 capas de relleno salpicado (u).....</i>	122
<i>Tabla B.12 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (u) fijando el caudal de agua en 5000 [l/h] .....</i>	122
<i>Tabla B.13 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (u) fijando el caudal de agua en 7000 [l/h] .....</i>	123
<i>Tabla B.14 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (u) fijando el caudal de agua en 9000 [l/h] .....</i>	123
<i>Tabla B.15 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (u) fijando el caudal de agua en 11000 [l/h] .....</i>	124
B1.4 Relleno salpicado (n), 1 capa.....	124
<i>Tabla B.16 - Resultados caudal de aire con 1 capa de relleno salpicado (n) .....</i>	124
<i>Tabla B.17 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (n) fijando el caudal de agua en 5000 [l/h] .....</i>	125

<i>Tabla B.18 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (n) fijando el caudal de agua en 7000 [l/h] .....</i>	125
<i>Tabla B.19 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (n) fijando el caudal de agua en 9000 [l/h] .....</i>	126
<i>Tabla B.20 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (n) fijando el caudal de agua en 11000 [l/h] .....</i>	126
<b>B1.5 Relleno salpicado (n), 2 capas .....</b>	<b>127</b>
<i>Tabla B.21 - Resultados caudal de aire con 2 capas de relleno salpicado (n) .....</i>	127
<i>Tabla B.22 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (n) fijando el caudal de agua en 5000 [l/h] .....</i>	127
<i>Tabla B.23 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (n) fijando el caudal de agua en 7000 [l/h] .....</i>	128
<i>Tabla B.24 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (n) fijando el caudal de agua en 9000 [l/h] .....</i>	128
<i>Tabla B.25 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (n) fijando el caudal de agua en 11000 [l/h] .....</i>	129
<b>B1.6 Relleno película, 1 capa .....</b>	<b>129</b>
<i>Tabla B.26 - Resultados caudal de aire con 1 capa de relleno película .....</i>	129
<i>Tabla B.27 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno película fijando el caudal de agua en 5000 [l/h] .....</i>	130
<i>Tabla B.28 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno película fijando el caudal de agua en 7000 [l/h] .....</i>	130
<i>Tabla B.29 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno película fijando el caudal de agua en 9000 [l/h] .....</i>	131
<i>Tabla B.30 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno película fijando el caudal de agua en 11000 [l/h] .....</i>	131
<b>B1.7 Relleno película, 2 capas.....</b>	<b>132</b>
<i>Tabla B.31 - Resultados caudal de aire con 2 capas de relleno película.....</i>	132
<i>Tabla B.32 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno película fijando el caudal de agua en 5000 [l/h] .....</i>	132
<i>Tabla B.33 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno película fijando el caudal de agua en 7000 [l/h] .....</i>	133
<i>Tabla B.34 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno película fijando el caudal de agua en 9000 [l/h] .....</i>	133
<i>Tabla B.35 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno película fijando el caudal de agua en 11000 [l/h] .....</i>	134
<b>B2. Resultados de ensayos .....</b>	<b>135</b>
<i>Tabla B.36 – Resultados sin relleno.....</i>	135



<i>Tabla B.37 – Resultados con 1 capa de relleno salpicado (u)</i> .....	135
<i>Tabla B.38 – Resultados con 2 capas de relleno salpicado (u)</i> .....	135
<i>Tabla B.39 – Resultados con 1 capa de relleno salpicado (n)</i> .....	136
<i>Tabla B.40 – Resultados con 2 capas de relleno salpicado (n)</i> .....	136
<i>Tabla B.41 – Resultados con 1 capa de relleno pelicula</i> .....	136
<i>Tabla B.42 – Resultados con 2 capas de relleno pelicula</i> .....	136



## B1. Resultados de caudal de aire

### B1.1 Sin relleno

Sin Relleno		
Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de Agua [l/h]	Velocidad [m/s]
1,295	0	2,76
1,245	5,02	2,65
1,253	6,93	2,67
1,273	8,82	2,71
1,29	10,84	2,75

Tabla B.1 – Resultados caudal de aire sin relleno

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,245	29,72	16,297	0,068	-0,44	-0,447	-0,377
1,245	29,85	16,297	0,068	-0,442	-0,432	-0,377
1,245	29,985	16,297	0,068	-0,444	-0,43	-0,377
1,245	29,97	16,297	0,068	-0,436	-0,437	-0,377
1,245	29,195	16,297	0,069	-0,45	-0,435	-0,377
1,245	28,58	16,297	0,069	-0,452	-0,439	-0,377
1,245	28,395	16,297	0,069	-0,455	-0,447	-0,377
1,245	28,105	16,297	0,069	-0,476	-0,444	-0,377
1,245	27,99	16,297	0,069	-0,486	-0,44	-0,377
1,245	28,395	16,297	0,069	-0,441	-0,445	-0,377
1,245	28,105	16,297	0,069	-0,434	-0,449	-0,377
			Promedio	-0,451	-0,44	

Tabla B.2 - Cálculo de presiones sin relleno fijando el caudal de agua en 5000 [l/h]

ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (antes)	e <sub>0</sub> (despues)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,253	29,94	16,297	0,069	-0,442	-0,44	-0,378
1,253	30,15	16,297	0,069	-0,438	-0,442	-0,378
1,253	30,43	16,297	0,069	-0,453	-0,444	-0,378
1,253	30,325	16,297	0,069	-0,437	-0,436	-0,378
1,253	30,12	16,297	0,069	-0,437	-0,45	-0,378
1,253	30,15	16,297	0,069	-0,438	-0,452	-0,378
1,253	30,165	16,296	0,069	-0,442	-0,455	-0,378
1,253	30,23	16,296	0,069	-0,441	-0,476	-0,378
1,253	30,34	16,297	0,069	-0,441	-0,486	-0,378
1,253	30,165	16,296	0,069	-0,459	-0,441	-0,378
1,253	30,23	16,296	0,069	-0,459	-0,434	-0,378
			Promedio	-0,444	-0,451	

Tabla B.3 - Cálculo de presiones sin relleno fijando el caudal de agua en 7000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,273	30,705	16,298	0,072	-0,463	-0,442	-0,387
1,273	31,01	16,298	0,071	-0,5	-0,438	-0,387
1,273	31,23	16,297	0,071	-0,503	-0,453	-0,387
1,273	31,365	16,297	0,071	-0,474	-0,437	-0,387
1,273	31,245	16,298	0,071	-0,478	-0,437	-0,387
1,273	30,86	16,298	0,071	-0,461	-0,438	-0,387
1,273	30,55	16,299	0,072	-0,462	-0,442	-0,387
1,273	30,4	16,299	0,072	-0,485	-0,441	-0,387
1,273	30,21	16,298	0,072	-0,449	-0,441	-0,387
1,273	30,55	16,299	0,072	-0,456	-0,459	-0,387
1,273	30,4	16,299	0,072	-0,463	-0,459	-0,387
			Promedio	-0,472	-0,444	

Tabla B.4 - Cálculo de presiones sin relleno fijando el caudal de agua en 9000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,29	30,045	16,299	0,074	-0,44	-0,463	-0,387
1,29	30,295	16,299	0,074	-0,445	-0,5	-0,387
1,29	30,445	16,298	0,074	-0,438	-0,503	-0,387
1,29	30,28	16,297	0,074	-0,439	-0,474	-0,387
1,29	30,045	16,298	0,074	-0,453	-0,478	-0,387
1,29	29,77	16,297	0,074	-0,449	-0,461	-0,387
1,29	29,275	16,298	0,074	-0,489	-0,462	-0,386
1,29	28,75	16,298	0,074	-0,451	-0,485	-0,386
1,29	28,38	16,297	0,074	-0,451	-0,449	-0,386
1,29	29,275	16,298	0,074	-0,436	-0,456	-0,386
1,29	28,75	16,298	0,074	-0,445	-0,463	-0,386
			Promedio	-0,449	-0,472	

Tabla B.5 - Cálculo de presiones sin relleno fijando el caudal de agua en 11000 [l/h]

## B1.2 Relleno salpicado en (u), 1 capa

Relleno Salpicado (u) 1 Capa		
Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de Agua [l/h]	Velocidad [m/s]
1,053	0	2,24
1,153	4,981	2,46
1,08	6,909	2,3
0,995	8,857	2,12
1,012	10,85	2,16

Tabla B.6 - Resultados caudal de aire con 1 capa de relleno salpicado (u)

ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,153	26,36	16,216	0,058	-0,439	-0,452	-0,399
1,153	26,36	16,216	0,058	-0,458	-0,447	-0,399
1,153	26,215	16,216	0,058	-0,472	-0,444	-0,399
1,153	26,125	16,218	0,058	-0,439	-0,447	-0,399
1,153	26,005	16,218	0,058	-0,444	-0,443	-0,399
1,153	25,99	16,218	0,058	-0,489	-0,462	-0,399
1,153	25,96	16,219	0,058	-0,475	-0,464	-0,399
1,153	25,86	16,219	0,058	-0,464	-0,477	-0,399
1,153	25,77	16,218	0,058	-0,482	-0,466	-0,399
1,153	25,96	16,219	0,058	-0,455	-0,446	-0,399
1,153	25,86	16,219	0,058	-0,449	-0,453	-0,399
			Promedio	-0,461	-0,455	

Tabla B.7 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (u)  
fijando el caudal de agua en 5000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (antes)	e <sub>0</sub> (despues)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,08	25,77	16,217	0,05	-0,451	-0,439	-0,402
1,08	25,77	16,217	0,05	-0,453	-0,458	-0,402
1,08	25,8	16,218	0,05	-0,448	-0,472	-0,402
1,08	25,695	16,217	0,05	-0,439	-0,439	-0,402
1,08	25,575	16,217	0,05	-0,439	-0,444	-0,402
1,08	25,49	16,217	0,051	-0,437	-0,489	-0,402
1,08	25,46	16,217	0,051	-0,436	-0,475	-0,402
1,08	25,37	16,218	0,051	-0,447	-0,464	-0,402
1,08	25,28	16,218	0,051	-0,448	-0,482	-0,402
1,08	25,46	16,217	0,051	-0,453	-0,455	-0,402
1,08	25,37	16,218	0,051	-0,44	-0,449	-0,402
			Promedio	-0,445	-0,461	

Tabla B.8 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (u)  
fijando el caudal de agua en 7000 [l/h]

ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
0,995	25,12	16,216	0,042	-0,45	-0,451	-0,408
0,995	25,075	16,216	0,042	-0,462	-0,453	-0,408
0,995	25	16,217	0,042	-0,463	-0,448	-0,408
0,995	24,97	16,217	0,042	-0,455	-0,439	-0,408
0,995	25,015	16,216	0,042	-0,456	-0,439	-0,408
0,995	25,09	16,217	0,042	-0,458	-0,437	-0,408
0,995	25,12	16,216	0,042	-0,461	-0,436	-0,408
0,995	25,075	16,216	0,042	-0,453	-0,447	-0,408
0,995	24,985	16,216	0,042	-0,449	-0,448	-0,408
0,995	25,12	16,216	0,042	-0,447	-0,453	-0,408
0,995	25,075	16,216	0,042	-0,447	-0,44	-0,408
			Promedio	-0,455	-0,445	

Tabla B.9 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (u)  
fijando el caudal de agua en 9000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,012	24,97	16,216	0,044	-0,463	-0,45	-0,41
1,012	24,985	16,216	0,044	-0,457	-0,462	-0,41
1,012	24,97	16,215	0,044	-0,459	-0,463	-0,41
1,012	24,91	16,214	0,044	-0,439	-0,455	-0,41
1,012	24,94	16,215	0,044	-0,454	-0,456	-0,41
1,012	24,97	16,215	0,044	-0,455	-0,458	-0,41
1,012	24,955	16,216	0,044	-0,446	-0,461	-0,41
1,012	24,97	16,215	0,044	-0,449	-0,453	-0,41
1,012	25,015	16,215	0,044	-0,453	-0,449	-0,41
1,012	24,955	16,216	0,044	-0,448	-0,447	-0,41
1,012	24,97	16,215	0,044	-0,448	-0,447	-0,41
			Promedio	-0,452	-0,455	

Tabla B.10 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (u)  
fijando el caudal de agua en 11000 [l/h]

### B1.3 Relleno salpicado en (u), 2 capas

Relleno Salpicado (u) 2 Capas		
Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de Agua [l/h]	Velocidad [m/s]
1,15	0	2,45
1,276	4,96	2,72
1,191	6,983	2,54
1,126	8,863	2,4
1,089	10,85	2,32

Tabla B.11 - Resultados caudal de aire con 2 capas de relleno salpicado (u)

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
<b>Fijo</b>	<b>Leído</b>	<b>Leído</b>	<b>Corregido</b>	<b>Leído</b>	<b>Leído</b>	<b>Reemplazar</b>
1,276	24,91	16,302	0,073	-0,587	-0,458	-0,444
1,276	24,72	16,302	0,073	-0,583	-0,457	-0,444
1,276	24,72	16,301	0,073	-0,583	-0,46	-0,444
1,276	24,645	16,302	0,074	-0,579	-0,458	-0,444
1,276	24,525	16,302	0,074	-0,577	-0,456	-0,444
1,276	24,405	16,301	0,074	-0,576	-0,457	-0,444
1,276	24,45	16,301	0,074	-0,574	-0,458	-0,444
1,276	24,585	16,302	0,074	-0,573	-0,457	-0,444
1,276	24,69	16,302	0,073	-0,57	-0,459	-0,444
1,276	24,45	16,301	0,074	-0,569	-0,459	-0,444
1,276	24,585	16,302	0,074	-0,569	-0,458	-0,444
			Promedio	-0,576	-0,458	

Tabla B.12 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (u)

fixando el caudal de agua en 5000 [l/h]



Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (antes)	e <sub>0</sub> (despues)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,191	25,12	16,302	0,063	-0,449	-0,431	-0,387
1,191	25,15	16,302	0,063	-0,451	-0,471	-0,387
1,191	25,22	16,302	0,063	-0,443	-0,487	-0,387
1,191	25,235	16,302	0,063	-0,433	-0,458	-0,387
1,191	25,25	16,302	0,063	-0,435	-0,423	-0,387
1,191	25,265	16,302	0,063	-0,437	-0,434	-0,387
1,191	25,31	16,302	0,063	-0,439	-0,446	-0,387
1,191	25,28	16,301	0,063	-0,455	-0,443	-0,387
1,191	25,355	16,301	0,063	-0,459	-0,467	-0,387
1,191	25,31	16,302	0,063	-0,465	-0,471	-0,387
1,191	25,28	16,301	0,063	-0,439	-0,466	-0,387
			Promedio	-0,446	-0,454	

Tabla B.13 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (u)  
fijando el caudal de agua en 7000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,126	25,31	16,301	0,056	-0,442	-0,449	-0,394
1,126	25,235	16,301	0,056	-0,466	-0,451	-0,394
1,126	25,135	16,302	0,056	-0,434	-0,443	-0,394
1,126	25,22	16,301	0,056	-0,443	-0,433	-0,394
1,126	25,355	16,302	0,056	-0,463	-0,435	-0,394
1,126	25,43	16,301	0,056	-0,454	-0,437	-0,394
1,126	25,475	16,301	0,056	-0,478	-0,439	-0,394
1,126	25,54	16,302	0,056	-0,486	-0,455	-0,394
1,126	25,295	16,302	0,056	-0,456	-0,459	-0,394
1,126	25,475	16,301	0,056	-0,427	-0,465	-0,394
1,126	25,54	16,302	0,056	-0,44	-0,439	-0,394
			Promedio	-0,454	-0,446	

Tabla B.14 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (u)  
fijando el caudal de agua en 9000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,089	25,56	16,302	0,052	-0,445	-0,442	-0,396
1,089	25,59	16,302	0,052	-0,448	-0,466	-0,396
1,089	25,65	16,302	0,052	-0,445	-0,434	-0,396
1,089	25,71	16,302	0,052	-0,443	-0,443	-0,396
1,089	25,71	16,302	0,052	-0,442	-0,463	-0,396
1,089	25,59	16,302	0,052	-0,45	-0,454	-0,396
1,089	25,415	16,302	0,052	-0,438	-0,478	-0,396
1,089	25,25	16,303	0,052	-0,435	-0,486	-0,396
1,089	25,09	16,303	0,052	-0,44	-0,456	-0,396
1,089	25,415	16,302	0,052	-0,434	-0,427	-0,396
1,089	25,25	16,303	0,052	-0,443	-0,44	-0,396
			Promedio	-0,442	-0,454	

Tabla B.15 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (u)  
fijando el caudal de agua en 11000 [l/h]

#### B1.4 Relleno salpicado (n), 1 capa

Relleno Salpicado (n) 1 Capa		
Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de Agua [l/h]	Velocidad [m/s]
1,069	0	2,28
1,038	4,971	2,21
1,075	6,942	2,29
1,129	8,809	2,41
1,14	10,8	2,43

Tabla B.16 - Resultados caudal de aire con 1 capa de relleno salpicado (n)

ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,038	30,595	16,241	0,045	-0,447	-0,429	-0,397
1,038	30,4	16,241	0,045	-0,448	-0,425	-0,397
1,038	30,34	16,241	0,045	-0,424	-0,419	-0,397
1,038	30,34	16,241	0,045	-0,439	-0,445	-0,397
1,038	30,28	16,24	0,045	-0,426	-0,445	-0,397
1,038	30,21	16,24	0,045	-0,447	-0,429	-0,397
1,038	30,09	16,24	0,045	-0,488	-0,443	-0,397
1,038	29,895	16,239	0,045	-0,473	-0,435	-0,397
1,038	29,645	16,24	0,046	-0,441	-0,451	-0,397
1,038	30,09	16,24	0,045	-0,436	-0,452	-0,397
1,038	29,895	16,239	0,045	-0,441	-0,452	-0,397
			Promedio	-0,446	-0,439	

Tabla B.17 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (n)  
fijando el caudal de agua en 5000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (antes)	e <sub>0</sub> (despues)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,075	25,815	16,284	0,05	-0,445	-0,447	-0,392
1,075	25,62	16,284	0,05	-0,434	-0,448	-0,392
1,075	25,4	16,284	0,05	-0,449	-0,424	-0,392
1,075	25,37	16,284	0,05	-0,455	-0,439	-0,392
1,075	25,475	16,284	0,05	-0,422	-0,426	-0,392
1,075	25,505	16,283	0,05	-0,426	-0,447	-0,392
1,075	25,605	16,285	0,05	-0,441	-0,488	-0,392
1,075	25,605	16,284	0,05	-0,434	-0,473	-0,392
1,075	25,505	16,284	0,05	-0,427	-0,441	-0,392
1,075	25,605	16,285	0,05	-0,438	-0,436	-0,392
1,075	25,605	16,284	0,05	-0,442	-0,441	-0,392
			Promedio	-0,438	-0,446	

Tabla B.18 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (n)  
fijando el caudal de agua en 7000 [l/h]

ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,129	26,065	16,286	0,056	-0,438	-0,445	-0,393
1,129	25,93	16,285	0,056	-0,444	-0,434	-0,393
1,129	25,96	16,286	0,056	-0,44	-0,449	-0,393
1,129	25,91	16,285	0,056	-0,435	-0,455	-0,393
1,129	25,785	16,285	0,056	-0,459	-0,422	-0,393
1,129	25,665	16,285	0,056	-0,468	-0,426	-0,393
1,129	25,475	16,285	0,056	-0,444	-0,441	-0,393
1,129	25,37	16,285	0,056	-0,498	-0,434	-0,393
1,129	25,49	16,285	0,056	-0,49	-0,427	-0,393
1,129	25,475	16,285	0,056	-0,478	-0,438	-0,393
1,129	25,37	16,285	0,056	-0,478	-0,442	-0,393
			Promedio	-0,461	-0,438	

Tabla B.19 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (n)  
fijando el caudal de agua en 9000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,14	26,375	16,285	0,057	-0,446	-0,438	-0,399
1,14	26,375	16,284	0,057	-0,431	-0,444	-0,399
1,14	26,23	16,285	0,057	-0,45	-0,44	-0,399
1,14	26,285	16,285	0,057	-0,438	-0,435	-0,399
1,14	26,465	16,285	0,057	-0,447	-0,459	-0,399
1,14	26,585	16,285	0,057	-0,459	-0,468	-0,399
1,14	26,62	16,285	0,057	-0,466	-0,444	-0,399
1,14	26,23	16,285	0,057	-0,459	-0,498	-0,399
1,14	26,285	16,285	0,057	-0,459	-0,49	-0,399
1,14	26,465	16,285	0,057	-0,45	-0,478	-0,399
1,14	26,585	16,285	0,057	-0,445	-0,478	-0,399
			Promedio	-0,45	-0,461	

Tabla B.20 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno salpicado (n)  
fijando el caudal de agua en 11000 [l/h]

**B1.5 Relleno salpicado (n), 2 capas**

Relleno Salpicado (n) 2 Capas		
Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de Agua [l/h]	Velocidad [m/s]
1,09	0	2,32
1,017	5,014	2,17
1,022	6,918	2,18
1,054	8,812	2,25
1,005	10,72	2,14

Tabla B.21 - Resultados caudal de aire con 2 capas de relleno salpicado (n)

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,017	26,233	16,229	0,044	-0,458	-0,445	-0,412
1,017	26,2	16,228	0,044	-0,457	-0,458	-0,412
1,017	26,2	16,229	0,044	-0,446	-0,453	-0,412
1,017	26,223	16,229	0,044	-0,454	-0,457	-0,412
1,017	26,23	16,23	0,044	-0,457	-0,449	-0,412
1,017	26,2	16,23	0,044	-0,46	-0,449	-0,412
1,017	26,17	16,229	0,044	-0,478	-0,451	-0,412
1,017	26,103	16,229	0,044	-0,462	-0,446	-0,412
1,017	25,87	16,229	0,044	-0,469	-0,45	-0,412
1,017	25,748	16,229	0,044	-0,46	-0,454	-0,412
1,017	25,87	16,229	0,044	-0,453	-0,458	-0,412
			Promedio	-0,459	-0,452	

Tabla B.22 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (n)  
fijando el caudal de agua en 5000 [l/h]

ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (antes)	e <sub>0</sub> (despues)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,022	29,12	16,237	0,044	-0,453	-0,458	-0,414
1,022	28,64	16,236	0,044	-0,45	-0,457	-0,414
1,022	28,4	16,236	0,044	-0,454	-0,446	-0,414
1,022	28,64	16,236	0,044	-0,449	-0,454	-0,414
1,022	28,83	16,237	0,044	-0,449	-0,457	-0,414
1,022	28,995	16,238	0,044	-0,461	-0,46	-0,414
1,022	28,995	16,236	0,044	-0,465	-0,478	-0,414
1,022	29,025	16,236	0,044	-0,461	-0,462	-0,414
1,022	29,17	16,236	0,044	-0,461	-0,469	-0,414
1,022	28,995	16,236	0,044	-0,458	-0,46	-0,414
1,022	29,025	16,236	0,044	-0,461	-0,453	-0,414
			Promedio	-0,457	-0,459	

Tabla B.23 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (n)  
fijando el caudal de agua en 7000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,054	29,85	16,236	0,047	-0,504	-0,472	-0,44
1,054	29,81	16,236	0,047	-0,493	-0,469	-0,44
1,054	29,85	16,236	0,047	-0,509	-0,469	-0,44
1,054	29,83	16,236	0,047	-0,517	-0,472	-0,44
1,054	29,63	16,236	0,047	-0,499	-0,469	-0,44
1,054	29,6	16,236	0,047	-0,504	-0,466	-0,44
1,054	29,555	16,236	0,047	-0,501	-0,471	-0,44
1,054	29,69	16,236	0,047	-0,503	-0,47	-0,44
1,054	29,78	16,235	0,047	-0,501	-0,469	-0,44
1,054	30,015	16,236	0,047	-0,493	-0,474	-0,44
1,054	29,78	16,235	0,047	-0,5	-0,481	-0,44
			Promedio	-0,502	-0,471	

Tabla B.24 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (n)  
fijando el caudal de agua en 9000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,005	30,34	16,235	0,042	-0,472	-0,459	-0,424
1,005	30,28	16,235	0,042	-0,469	-0,471	-0,424
1,005	30,25	16,234	0,042	-0,469	-0,455	-0,424
1,005	30,25	16,233	0,042	-0,472	-0,461	-0,424
1,005	30,23	16,233	0,042	-0,469	-0,462	-0,424
1,005	30,045	16,234	0,042	-0,466	-0,465	-0,423
1,005	29,49	16,233	0,042	-0,471	-0,461	-0,423
1,005	29,26	16,233	0,042	-0,47	-0,46	-0,423
1,005	29,185	16,234	0,042	-0,469	-0,455	-0,423
1,005	29,49	16,233	0,042	-0,474	-0,456	-0,423
1,005	29,26	16,233	0,042	-0,481	-0,458	-0,423
			Promedio	-0,471	-0,46	

Tabla B.25 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno salpicado (n)  
fijando el caudal de agua en 11000 [l/h]

## B1.6 Relleno película, 1 capa

Relleno Película 1 Capa		
Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de Agua [l/h]	Velocidad [m/s]
1,17	0	2,49
1,157	4,963	2,47
1,102	6,948	2,35
1,085	8,626	2,31
1,084	10,61	2,31

Tabla B.26 - Resultados caudal de aire con 1 capa de relleno película

ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,157	32,48	16,283	0,058	-0,443	-0,438	-0,39
1,157	32,7	16,283	0,058	-0,444	-0,544	-0,39
1,157	32,835	16,282	0,058	-0,447	-0,442	-0,39
1,157	33,01	16,282	0,057	-0,439	-0,434	-0,39
1,157	32,88	16,282	0,057	-0,452	-0,445	-0,39
1,157	32,775	16,282	0,058	-0,467	-0,447	-0,39
1,157	33,01	16,282	0,057	-0,447	-0,441	-0,39
1,157	33,235	16,282	0,057	-0,449	-0,428	-0,39
1,157	32,485	16,283	0,058	-0,444	-0,44	-0,39
1,157	33,01	16,282	0,057	-0,442	-0,437	-0,39
1,157	33,235	16,282	0,057	-0,444	-0,437	-0,39
			Promedio	-0,447	-0,448	

Tabla B.27 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno película  
fijando el caudal de agua en 5000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (antes)	e <sub>0</sub> (despues)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,102	32,7	16,28	0,052	-0,454	-0,443	-0,39
1,102	32,76	16,281	0,052	-0,432	-0,444	-0,39
1,102	32,85	16,282	0,052	-0,437	-0,447	-0,39
1,102	32,835	16,282	0,052	-0,438	-0,439	-0,39
1,102	33,115	16,281	0,052	-0,431	-0,452	-0,39
1,102	33,295	16,281	0,051	-0,432	-0,467	-0,391
1,102	33,34	16,28	0,051	-0,434	-0,447	-0,391
1,102	33,295	16,28	0,051	-0,439	-0,449	-0,391
1,102	32,685	16,28	0,052	-0,441	-0,444	-0,39
1,102	33,34	16,28	0,051	-0,438	-0,442	-0,391
1,102	33,295	16,28	0,051	-0,43	-0,444	-0,391
			Promedio	-0,437	-0,447	

Tabla B.28 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno película  
fijando el caudal de agua en 7000 [l/h]



ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,085	32,64	16,279	0,05	-0,442	-0,454	-0,391
1,085	32,925	16,28	0,05	-0,457	-0,432	-0,391
1,085	33,07	16,28	0,05	-0,455	-0,437	-0,391
1,085	33,01	16,28	0,05	-0,46	-0,438	-0,391
1,085	32,82	16,28	0,05	-0,439	-0,431	-0,391
1,085	32,545	16,28	0,05	-0,424	-0,432	-0,391
1,085	32,255	16,28	0,05	-0,444	-0,434	-0,391
1,085	32,225	16,28	0,05	-0,442	-0,439	-0,391
1,085	31,9	16,28	0,05	-0,448	-0,441	-0,391
1,085	32,255	16,28	0,05	-0,445	-0,438	-0,391
1,085	32,225	16,28	0,05	-0,445	-0,43	-0,391
			Promedio	-0,446	-0,437	

Tabla B.29 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno pelicula  
fijando el caudal de agua en 9000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,084	32,67	16,279	0,05	-0,446	-0,442	-0,403
1,084	32,805	16,278	0,05	-0,453	-0,457	-0,403
1,084	32,975	16,278	0,05	-0,459	-0,455	-0,403
1,084	33,205	16,278	0,05	-0,465	-0,46	-0,403
1,084	33,355	16,279	0,05	-0,465	-0,439	-0,403
1,084	33,385	16,278	0,05	-0,461	-0,424	-0,403
1,084	33,37	16,278	0,05	-0,462	-0,444	-0,403
1,084	33,385	16,277	0,05	-0,462	-0,442	-0,403
1,084	33,37	16,278	0,05	-0,461	-0,448	-0,403
1,084	33,37	16,278	0,05	-0,459	-0,445	-0,403
1,084	33,385	16,277	0,05	-0,463	-0,445	-0,403
			Promedio	-0,46	-0,446	

Tabla B.30 - Cálculo de presiones con 1 capa de relleno pelicula  
fijando el caudal de agua en 11000 [l/h]

### B1.7 Relleno película, 2 capas

Relleno Película 2 Capas		
Caudal de Aire [m <sup>3</sup> /s]	Caudal de Agua [l/h]	Velocidad [m/s]
1,052	0	2,24
1,013	4,91	2,16
1,012	6,816	2,16
1,04	8,623	2,22
0,968	10,71	2,06

Tabla B.31 - Resultados caudal de aire con 2 capas de relleno película

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (después)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
<b>Fijo</b>	<b>Leído</b>	<b>Leído</b>	<b>Corregido</b>	<b>Leído</b>	<b>Leído</b>	<b>Reemplazar</b>
1,013	30,505	16,267	0,043	-0,451	-0,447	-0,406
1,013	30,61	16,266	0,043	-0,455	-0,451	-0,406
1,013	30,625	16,268	0,043	-0,449	-0,439	-0,406
1,013	30,67	16,266	0,043	-0,448	-0,442	-0,406
1,013	30,71	16,267	0,043	-0,445	-0,449	-0,406
1,013	30,71	16,266	0,043	-0,449	-0,454	-0,406
1,013	30,61	16,266	0,043	-0,442	-0,462	-0,406
1,013	30,565	16,265	0,043	-0,439	-0,461	-0,406
1,013	30,43	16,266	0,043	-0,444	-0,449	-0,406
1,013	30,61	16,266	0,043	-0,447	-0,45	-0,406
1,013	30,565	16,265	0,043	-0,447	-0,458	-0,406
			Promedio	-0,447	-0,451	

Tabla B.32 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno película  
fijando el caudal de agua en 5000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (antes)	e <sub>0</sub> (despues)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,012	30,34	16,266	0,043	-0,448	-0,451	-0,405
1,012	30,18	16,265	0,043	-0,475	-0,455	-0,405
1,012	30,18	16,266	0,043	-0,453	-0,449	-0,405
1,012	30,15	16,266	0,043	-0,452	-0,448	-0,405
1,012	30,09	16,266	0,043	-0,437	-0,445	-0,405
1,012	30,195	16,265	0,043	-0,44	-0,449	-0,405
1,012	30,325	16,266	0,043	-0,447	-0,442	-0,405
1,012	30,355	16,266	0,043	-0,448	-0,439	-0,405
1,012	30,43	16,266	0,043	-0,449	-0,444	-0,405
1,012	30,325	16,266	0,043	-0,446	-0,447	-0,405
1,012	30,355	16,266	0,043	-0,438	-0,444	-0,405
			Promedio	-0,448	-0,447	

Tabla B.33 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno pelicula  
fijando el caudal de agua en 7000 [l/h]

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
Fijo	Leído	Leído	Corregido	Leído	Leído	Reemplazar
1,04	30,075	16,266	0,046	-0,443	-0,448	-0,402
1,04	30	16,266	0,046	-0,444	-0,475	-0,402
1,04	29,97	16,266	0,046	-0,445	-0,453	-0,402
1,04	30,015	16,266	0,046	-0,444	-0,452	-0,402
1,04	30	16,265	0,046	-0,451	-0,437	-0,402
1,04	30,03	16,265	0,046	-0,446	-0,44	-0,402
1,04	30,03	16,265	0,046	-0,456	-0,447	-0,402
1,04	30,06	16,266	0,046	-0,445	-0,448	-0,402
1,04	30,09	16,266	0,046	-0,446	-0,449	-0,402
1,04	30,03	16,265	0,046	-0,443	-0,446	-0,402
1,04	30,06	16,266	0,046	-0,443	-0,438	-0,402
			Promedio	-0,446	-0,448	

Tabla B.34 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno pelicula  
fijando el caudal de agua en 9000 [l/h]

ANEXO B: Planillas resumen

Wg	t (tdb)	Patm	DP <sub>T</sub>	e <sub>0</sub> (despues)	e <sub>0</sub> (antes)	DP <sub>T</sub>
[m <sup>3</sup> /s]	[°C]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]	[mA]
<b>Fijo</b>	<b>Leído</b>	<b>Leído</b>	<b>Corregido</b>	<b>Leído</b>	<b>Leído</b>	<b>Reemplazar</b>
0,968	29,85	16,267	0,039	-0,445	-0,443	-0,406
0,968	29,765	16,268	0,039	-0,45	-0,444	-0,406
0,968	29,66	16,267	0,039	-0,446	-0,445	-0,406
0,968	29,6	16,266	0,039	-0,451	-0,444	-0,406
0,968	29,555	16,266	0,039	-0,446	-0,451	-0,406
0,968	29,425	16,265	0,039	-0,445	-0,446	-0,406
0,968	29,46	16,266	0,039	-0,442	-0,456	-0,406
0,968	29,54	16,265	0,039	-0,44	-0,445	-0,406
0,968	29,54	16,267	0,039	-0,442	-0,446	-0,406
0,968	29,46	16,266	0,039	-0,439	-0,443	-0,406
0,968	29,54	16,265	0,039	-0,442	-0,443	-0,406
			Promedio	-0,444	-0,446	

Tabla B.35 - Cálculo de presiones con 2 capas de relleno película  
fijando el caudal de agua en 11000 [l/h]

**B2. Resultados de ensayos**

Sin Relleno									
Caudal	L/G	$\eta_d$	CT	QP	W	Wg	$V_m$	$DP_T$	$\tau$
[l/h]	[---]	[---]	[m/h]	[---]	[Kw]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[Pa]	[---]
5000,00	1,004	0,256	10,655	92,025	0,446	1,242	2,648	-4,079	1,045
7000,00	1,398	0,217	14,885	91,418	0,452	1,252	2,670	-4,132	1,046
9000,00	1,755	0,202	18,995	85,273	0,444	1,275	2,718	-4,288	1,050
11000,00	2,109	0,195	23,123	84,950	0,456	1,286	2,742	-4,390	1,052

Tabla B.36 – Resultados sin relleno

Relleno Salpicado (u) 1 Capa									
Caudal	L/G	$\eta_d$	CT	QP	W	Wg	$V_m$	$DP_T$	$\tau$
[l/h]	[---]	[---]	[m/h]	[---]	[Kw]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[Pa]	[---]
5000,00	1,079	0,472	10,639	116,402	0,448	1,148	2,447	-3,452	1,030
7000,00	1,608	0,341	14,859	140,229	0,442	1,073	2,289	-2,977	1,014
9000,00	2,227	0,295	18,997	181,128	0,448	0,990	2,110	-2,478	0,991
11000,00	2,663	0,241	23,123	167,248	0,436	1,007	2,147	-2,580	0,996

Tabla B.37 – Resultados con 1 capa de relleno salpicado (u)

Relleno Salpicado (u) 2 Capas									
Caudal	L/G	$\eta_d$	CT	QP	W	Wg	$V_m$	$DP_T$	$\tau$
[l/h]	[---]	[---]	[m/h]	[---]	[Kw]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[Pa]	[---]
5000,00	0,972	0,782	10,725	83,038	0,440	1,273	2,715	-4,375	1,051
7000,00	1,438	0,452	14,834	101,777	0,442	1,192	2,543	-3,782	1,038
9000,00	1,967	0,382	19,007	121,323	0,434	1,118	2,384	-3,277	1,024
11000,00	2,469	0,317	23,128	131,969	0,430	1,084	2,311	-3,056	1,017

1.1 Tabla B.38 – Resultados con 2 capas de relleno salpicado (u)

Relleno Salpicado (n) 1 Capa									
Caudal	L/G	$\eta_d$	CT	QP	W	Wg	$V_m$	$DP_T$	$\tau$
[l/h]	[---]	[---]	[m/h]	[---]	[Kw]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[Pa]	[---]
5000,00	1,212	0,341	10,710	155,870	0,442	1,041	2,220	-2,734	1,004
7000,00	1,608	0,324	14,913	144,451	0,458	1,074	2,291	-2,993	1,014
9000,00	1,933	0,307	18,960	119,846	0,450	1,137	2,424	-3,395	1,028
11000,00	2,334	0,283	23,088	113,175	0,438	1,149	2,451	-3,468	1,030

Tabla B.39 – Resultados con 1 capa de relleno salpicado (n)

Relleno Salpicado (n) 2 Capas									
Caudal	L/G	$\eta_d$	CT	QP	W	Wg	$V_m$	$DP_T$	$\tau$
[l/h]	[---]	[---]	[m/h]	[---]	[Kw]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[Pa]	[---]
5000,00	1,223	0,527	10,690	167,467	0,448	1,017	2,168	-2,628	0,999
7000,00	1,703	0,417	14,807	163,899	0,440	1,021	2,177	-2,626	0,999
9000,00	2,121	0,352	19,043	144,765	0,430	1,057	2,254	-2,832	1,008
11000,00	2,719	0,316	23,275	163,008	0,420	1,008	2,149	-2,542	0,995

Tabla B.40 – Resultados con 2 capas de relleno salpicado (n)

Relleno Pelicula 1 Capa									
Caudal	L/G	$\eta_d$	CT	QP	W	Wg	$V_m$	$DP_T$	$\tau$
[l/h]	[---]	[---]	[m/h]	[---]	[Kw]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[Pa]	[---]
5000,00	1,103	0,409	10,710	114,822	0,438	1,152	2,456	-3,405	1,028
7000,00	1,605	0,313	14,837	134,608	0,444	1,098	2,341	-3,055	1,017
9000,00	2,085	0,264	19,022	137,258	0,434	1,082	2,306	-2,961	1,013
11000,00	2,543	0,217	23,212	138,279	0,440	1,085	2,313	-2,973	1,013

Tabla B.41 – Resultados con 1 capa de relleno pelicula

Relleno Película 2 Capas									
Caudal	L/G	$\eta_d$	CT	QP	W	Wg	$V_m$	$DP_T$	$\tau$
[l/h]	[---]	[---]	[m/h]	[---]	[Kw]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[Pa]	[---]
5000,00	1,239	0,552	10,679	166,363	0,438	1,016	2,166	-2,583	0,997
7000,00	1,737	0,411	14,838	174,119	0,446	1,006	2,145	-2,531	0,994
9000,00	2,161	0,338	18,989	155,921	0,434	1,034	2,205	-2,697	1,002
11000,00	2,820	0,294	23,170	191,378	0,434	0,965	2,058	-2,306	0,982

Tabla B.42 – Resultados con 2 capas de relleno pelicula

## ANEXO C

### Planos

#### Contenido

- Sonda para medición del caudal de aire
  - Plano del conjunto completo
  - Plano de la base
  - Plano del soporte
  - Plano del peine de sondas
  - Plano de la unión
- Plano general de la instalación





H G F E D C B A

V.L.D.

V.A

700

4

4

22.5

320

3

3

V.ISO.

2

2

Nota: el perfil es NACA 0018, con una cuerda de 417 mm, construido en una estructura de telgopor laminado con fibra de vidrio

5	Perfil	1
4	Union	2
3	Peine de sondas	1
2	Soporte	2
1	Base	2
Marca	Parte	Cantidad

1

1

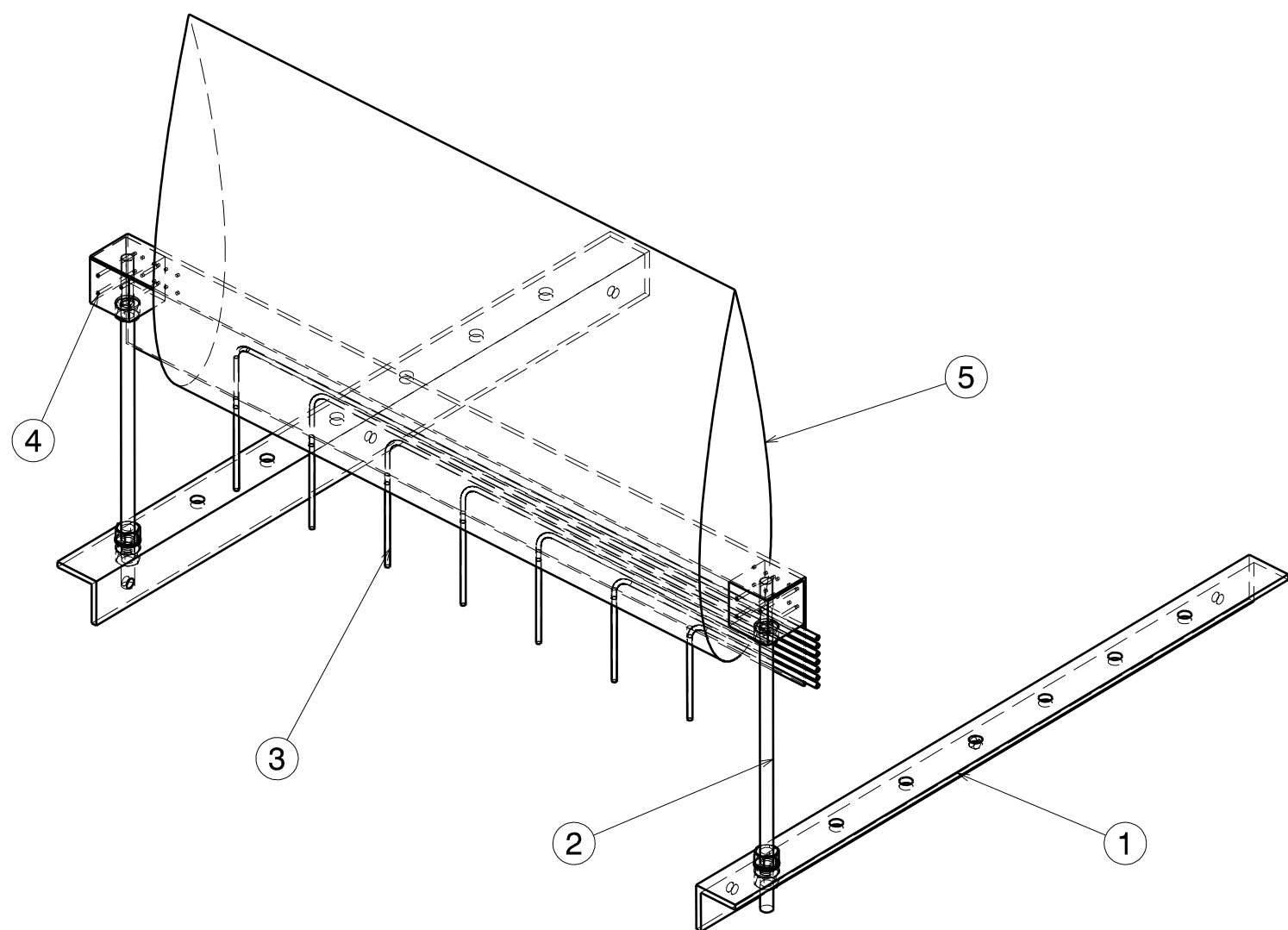
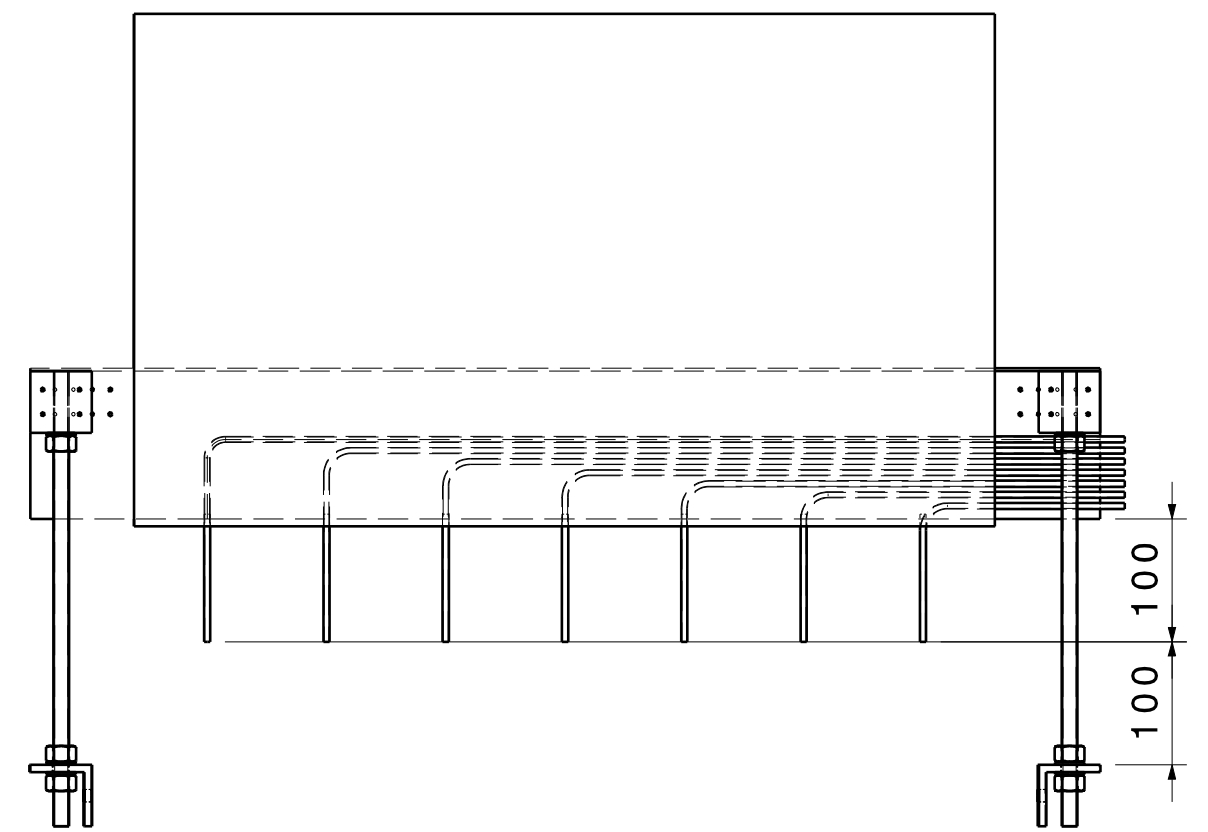
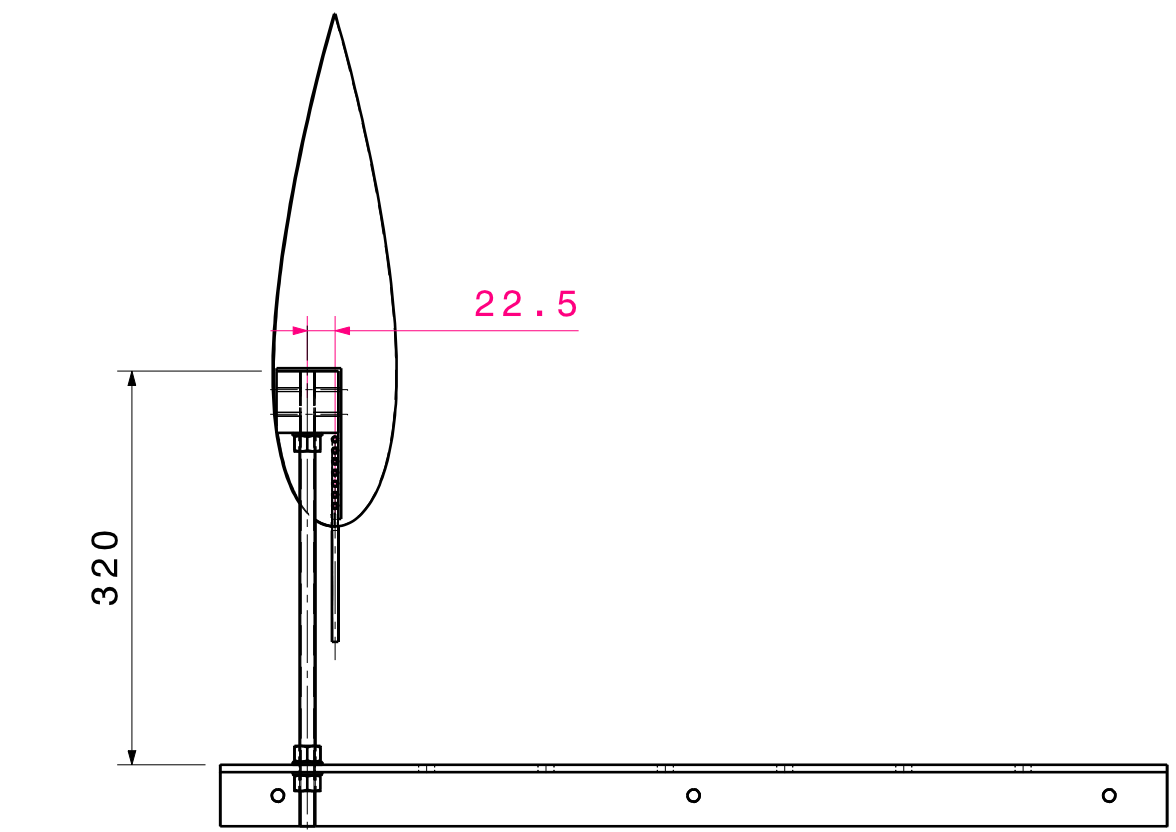
Universidad Nacional de Cordoba - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales		Trabajo final - Ing. Aeronautica	
Dibujado por: <b>Alamos J.</b>	Fecha 19/05/2013	Sonda para medicion de caudal de aire	
Controlado por: <b>Fernandez R.</b>	Fecha 20/05/2013	A3	REV
Aprobado por: <b>Sirena J.</b>	Fecha 21/05/2013	Conjunto completo	
Escala: 1:5			

H

G

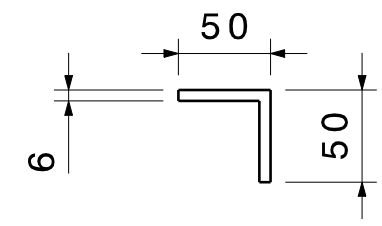
B

A

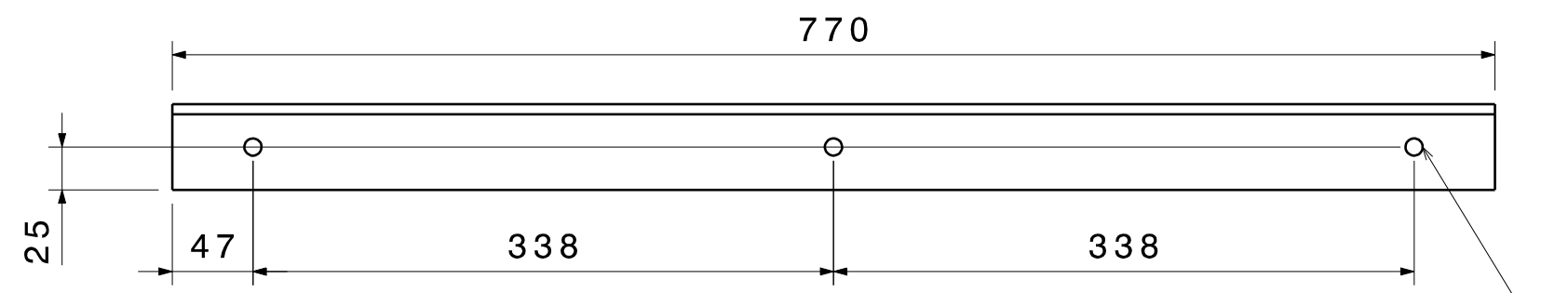


H G F E D C B A

V.A.

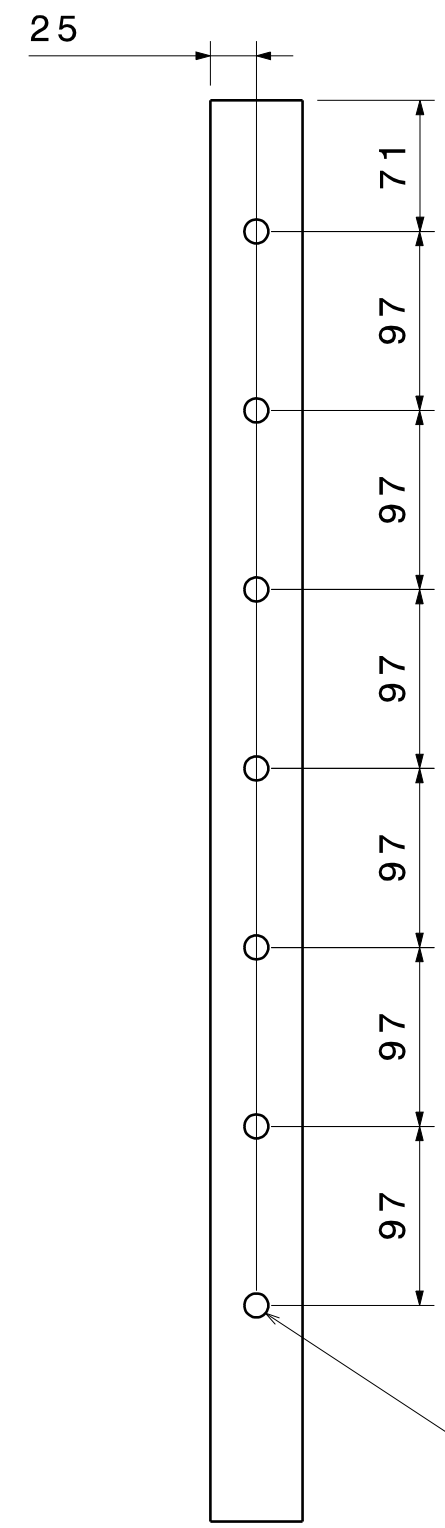


V.L.I

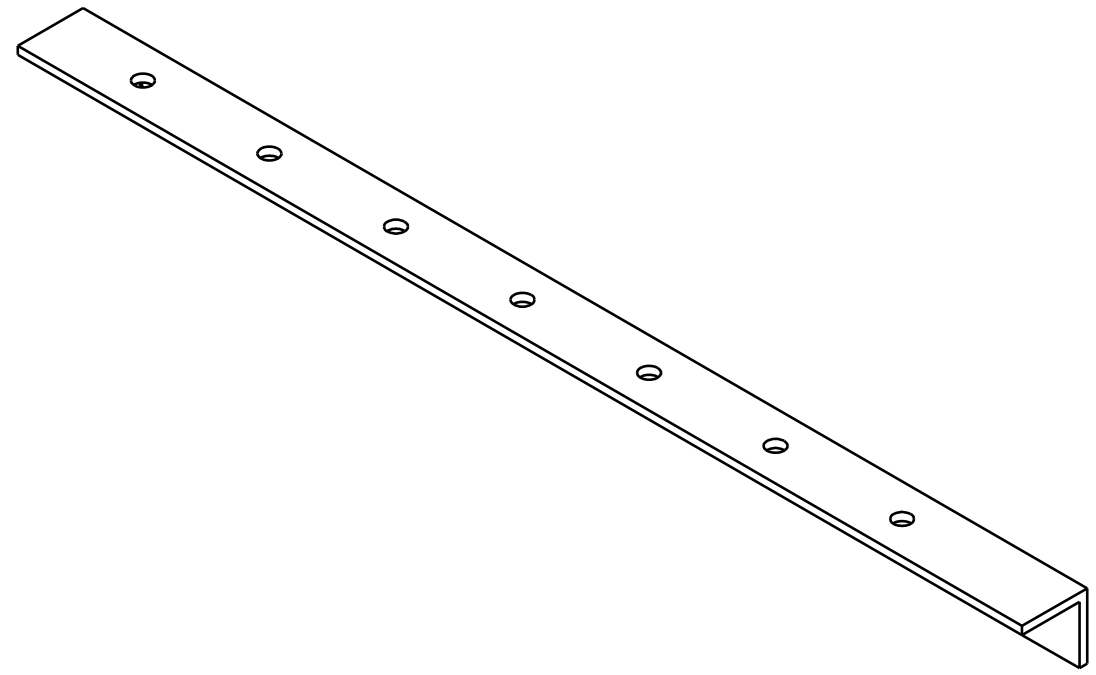


3 agujeros pasantes Ø 10

V.S.



V.ISO.



7 agujeros pasantes Ø 13

Universidad Nacional de Cordoba - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales		Trabajo final - Ing. Aeronautica	
Dibujado por: <b>Alamos J.</b>	Fecha 15/05/2013	Sonda para medicion de caudal de aire	
Controlado por: <b>Fernandez R.</b>	Fecha 16/05/2013	A3	Parte <b>Base</b>
Aprobado por: <b>Sirena J.</b>	Fecha 17/05/2013	Escala: 1:4	Material: hierro 1010
		Cantidad: 2	

H G B A

4  
3  
2  
1

4  
3  
2  
1

D

C

B

A

4

V.A.

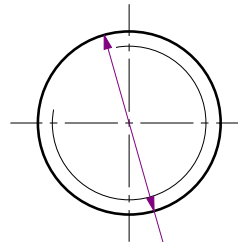


A

Detalle A  
Escala: 2:1

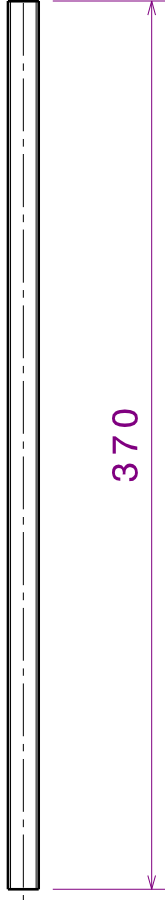
4

V.S.



W 1/2 "

3



370

3

2

2

Universidad Nacional  
de Cordoba - Facultad  
de Ciencias Exactas  
Fisicas y Naturales

Trabajo final - Ing. Aeronautica

Sonda para medicion de  
caudal de aire

Dibujado por:  
**Alamos J.**  
Fecha  
17/05/2013

Controlado por:  
**Fernandez R.**  
Fecha  
18/05/2013

Aprobado por:  
**Sirena J.**  
Fecha  
19/05/2013

Parte  
**A4**      **Soporte**      REV

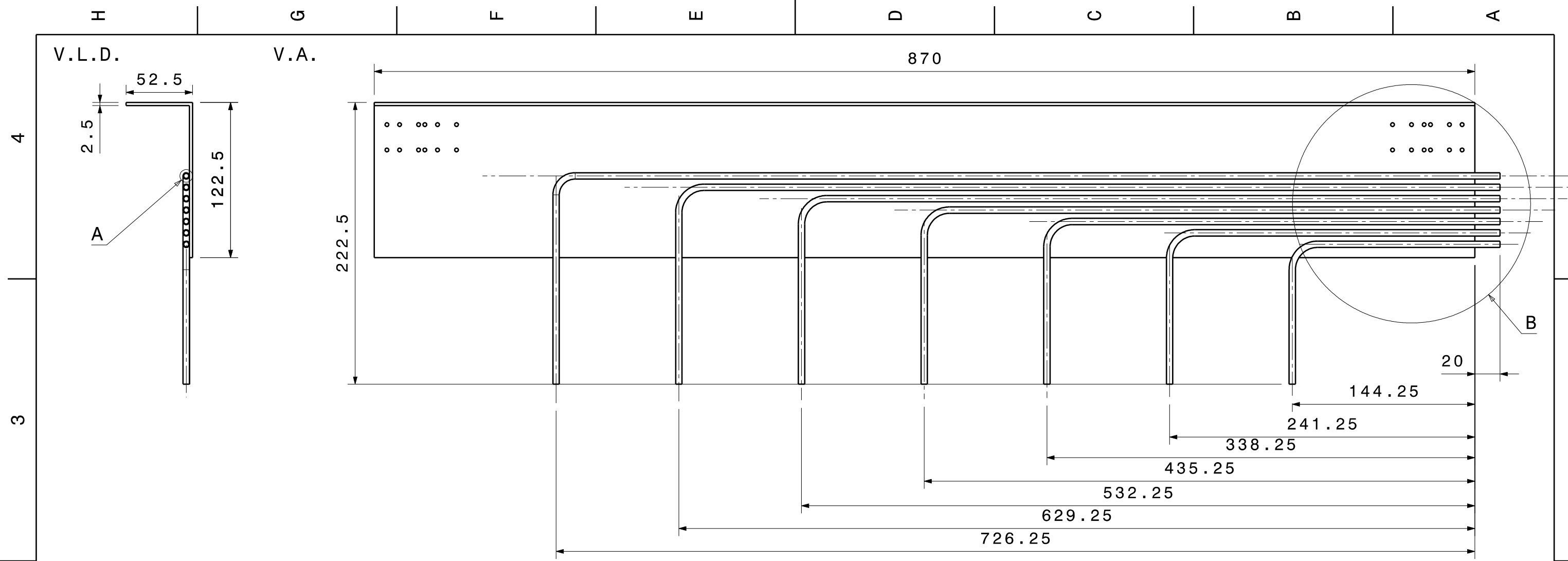
Escala: 1:3      Material: hierro 1010      Cantidad: 2

D

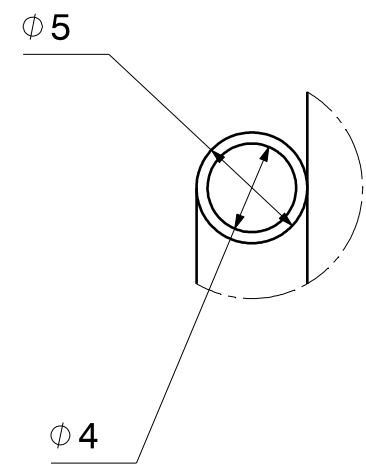
A

1

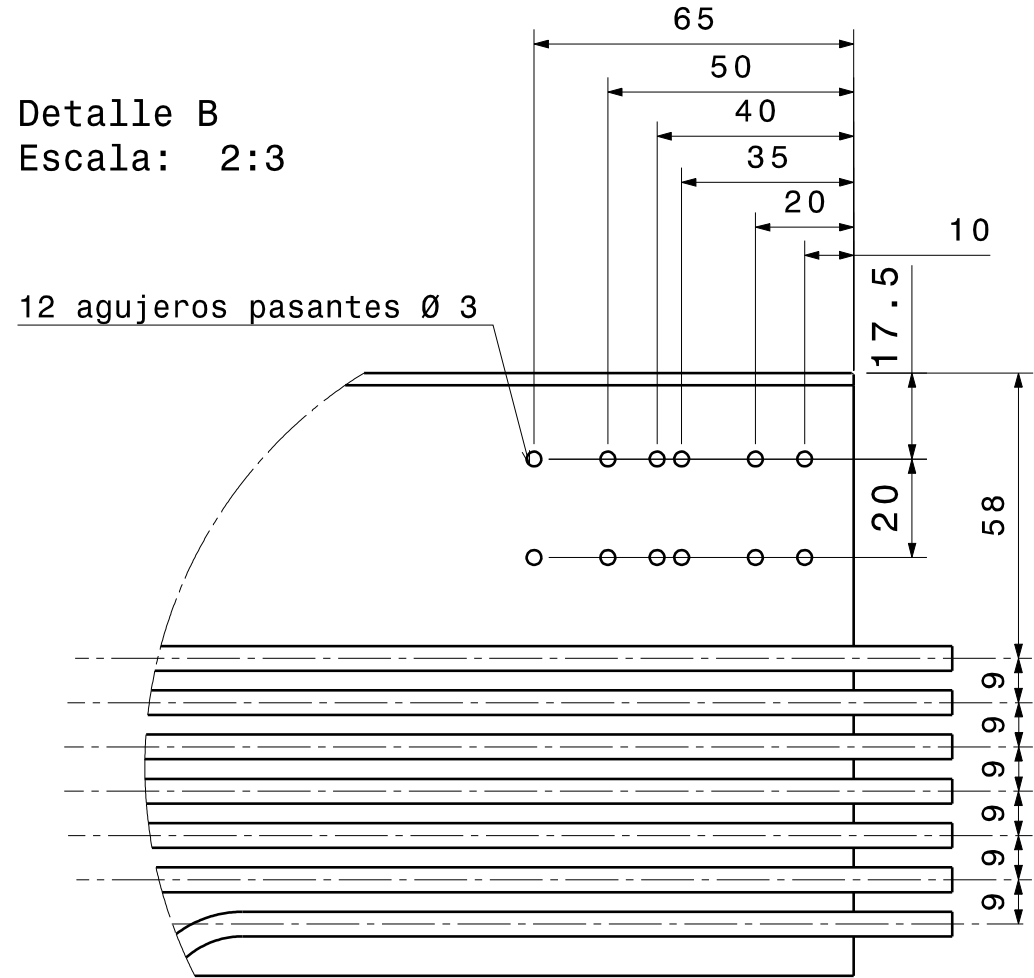
1



Detalle A  
Escala: 3:1



Detalle B  
Escala: 2:3



Nota 1: los agujeros pasantes del extremo opuesto al detalle B tienen la misma posición y dimensión que los acotados en dicho detalle pero están referidos al extremo opuesto

Nota 2: los radios no acotados de cada una de las siete sondas son de 20

Universidad Nacional de Córdoba - Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales		Trabajo final - Ing. Aeronautica	
Dibujado por: <b>Alamos J.</b>		Fecha 17/05/2013	
Controlado por: <b>Fernandez R.</b>		Fecha 18/05/2013	
Aprobado por: <b>Sirena J.</b>		Fecha 19/05/2013	
Parte <b>A3</b>		REV	
Escala: 1:3		Material: cobre	
Cantidad: 1			

1

2

3

4

1

2

3

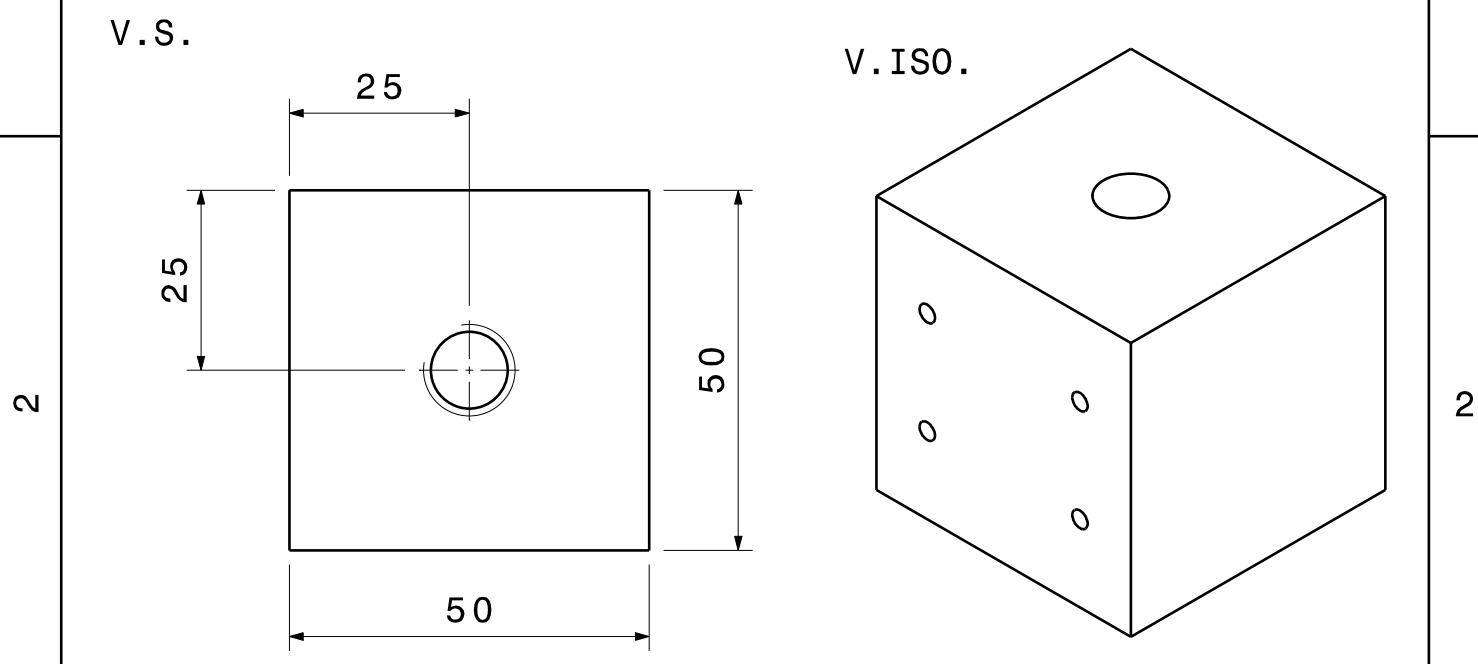
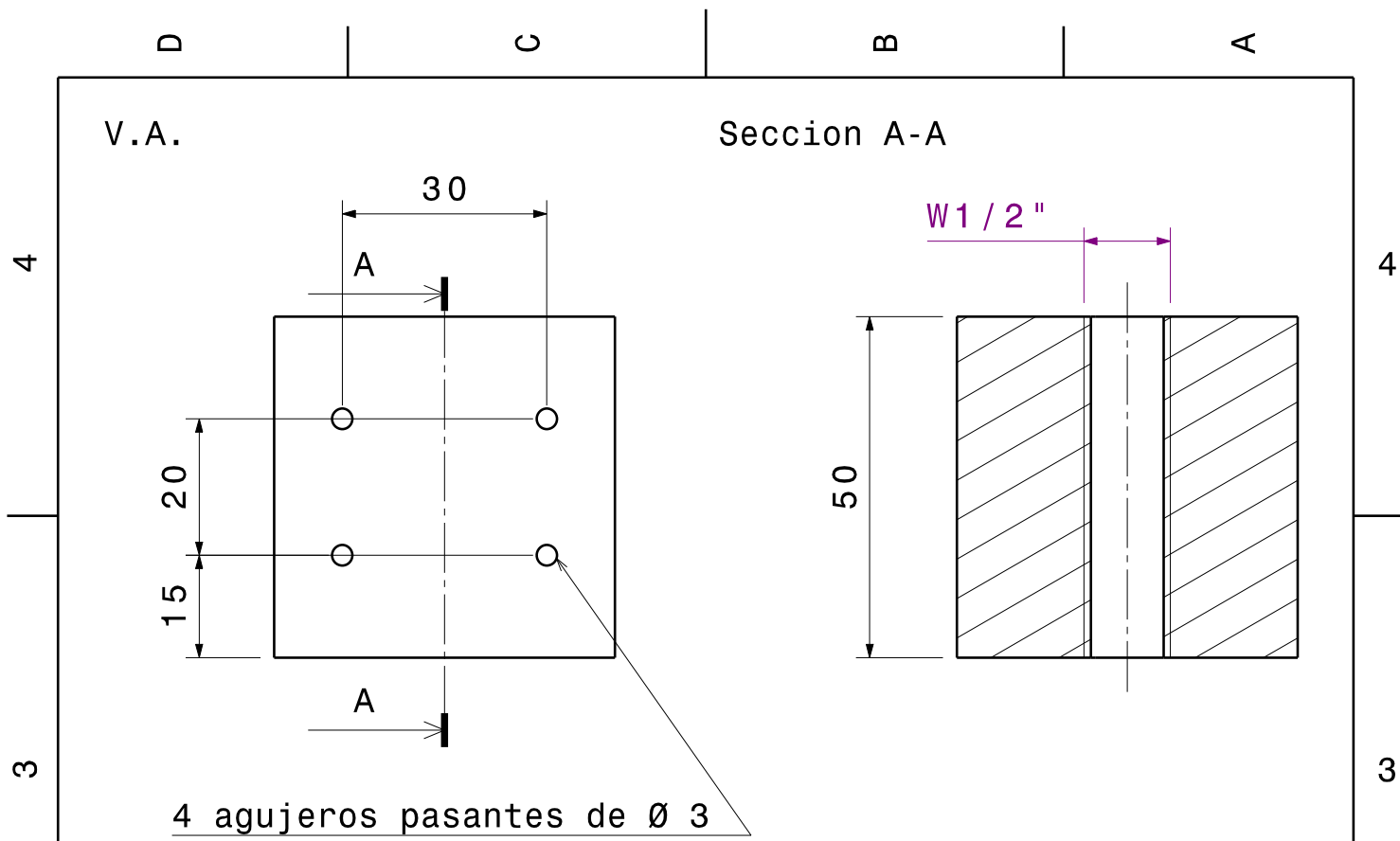
4

H

G

B

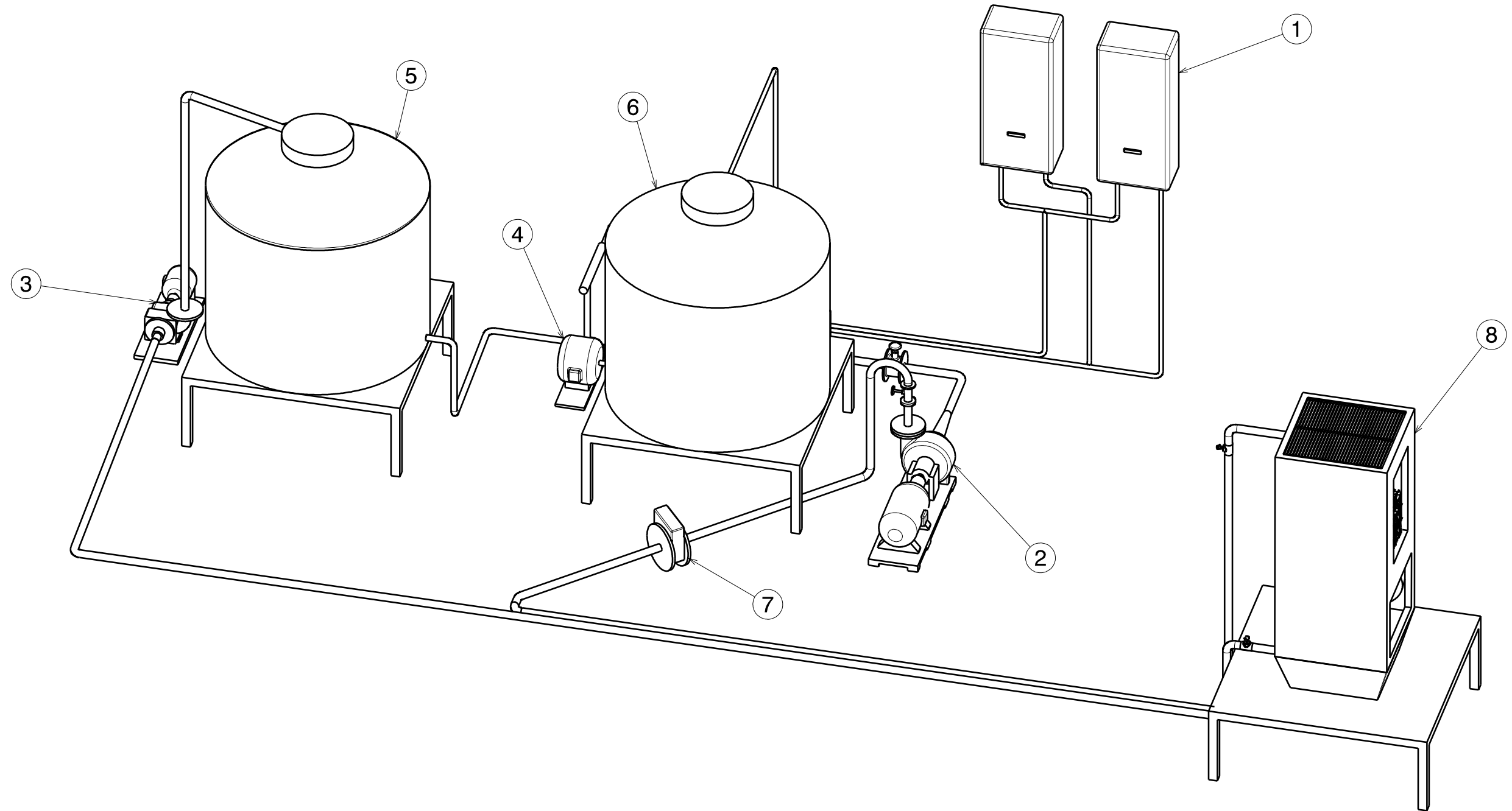
A



Universidad Nacional de Cordoba Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales		Trabajo final - Ing. Aeronautica		
Dibujado por: <b>Alamos J.</b>		Sonda para medicion de caudal de aire		
Fecha 17/05/2013	Parte		REV	
Controlado por: <b>Fernandez R.</b>	Fecha 18/05/2013	<b>A4</b> Union		
Aprobado por: <b>Sirena J.</b>	Fecha 19/05/2013	Escala 1:1	Material: aluminio	Cantidad: 2

D A

V.ISO



8	Torre de enfriamiento DZ M1	1
7	Caudalimetro	1
6	Tanque de agua caliente	1
5	Tanque de agua fria	1
4	Bomba de recuperacion	1
3	Bomba de agua fria	1
2	Bomba de agua caliente	1
1	Calefon	2
Marca	Elemento	Cantidad

Universidad Nacional de  
Cordoba - Facultad de  
Ciencias Exactas  
Fisicas y Naturales

Dibujado por:  
**Uranga E.**

Fecha  
23/06/2014

Controlado por:  
**Alamos J.**

Fecha  
24/06/2014

Aprobado por:  
**Sirena J.**

Fecha  
25/06/2014

Trabajo final - Ing. Aeronautica

Instalacion para la determinacion de las  
performances termicas de la torre DZ M1

A3

Plano general

REV

Escala: 1:30

H

G

B

A



### Licencia de Distribución No Exclusiva

Para que el Repositorio de la Universidad Nacional de Córdoba pueda reproducir y comunicar públicamente su documento es necesario la aceptación de los siguientes términos. Por favor, lea las siguientes condiciones de licencia:

1. Aceptando esta licencia, usted (el autor/es o el propietario/s de los derechos de autor) garantiza a la Universidad Nacional de Córdoba el derecho no exclusivo de archivar, reproducir, convertir (como se define más abajo), comunicar y/o distribuir su documento mundialmente en formato electrónico.
2. También está de acuerdo con que la Universidad Nacional de Córdoba pueda conservar más de una copia de este documento y, sin alterar su contenido, convertirlo a cualquier formato de fichero, medio o soporte, para propósitos de seguridad, preservación y acceso.
3. Declara que el documento es un trabajo original suyo y/o que tiene el derecho para otorgar los derechos contenidos en esta licencia. También declara que su documento no infringe, en tanto en cuanto le sea posible saber, los derechos de autor de ninguna otra persona o entidad.
4. Si el documento contiene materiales de los cuales no tiene los derechos de autor, declara que ha obtenido el permiso sin restricción del propietario de los derechos de autor para otorgar a la Universidad Nacional de Córdoba los derechos requeridos por esta licencia, y que ese material cuyos derechos son de terceros está claramente identificado y reconocido en el texto o contenido del documento entregado.
5. Si el documento se basa en una obra que ha sido patrocinada o apoyada por una agencia u organización diferente de la Universidad Nacional de Córdoba, se presupone que se ha cumplido con cualquier derecho de revisión u otras obligaciones requeridas por este contrato o acuerdo.
6. La Universidad Nacional de Córdoba identificará claramente su/s nombre/s como el/los autor/es o propietario/s de los derechos del documento, y no hará ninguna alteración de su documento diferente a las permitidas en esta licencia.

**Título:** *"Prestaciones termo-electro-fluidodinamicas de una torre de enfriamiento de agua de tiro forzado"*

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Aclaración

\_\_\_\_\_  
Aclaración

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Fecha