



- ⓔ Adiabatic air conditioning at Peñagrande subway station, Madrid - Spain
- ⓕ Adiabatic air conditioning at Peñagrande subway station, Madrid - Spain



Elecpa S.L.
Instalaciones y Control

CASE STUDY

Case Study: Adiabatic air conditioning at the Peñagrande subway station, Madrid, Spain

This report is an attempt to describe the functioning of the adiabatic air conditioning system at the platforms of Peñagrande subway station, in Camino de Ganapanes street, Madrid.

We shall therefore describe the elements which make up the system and how they work. The installation of this solution provides more comfort, cooling the environment using water as a source of power, and is considerably more economic than traditional cooling systems (direct expansion) as it consumes less power.



Introduction

Peñagrande subway station, Madrid, Spain

Due to the thermo-hygrometric conditions of the city centre, the adiabatic humidification/cooling system is very convenient during the summer months, as its power consumption is substantially lower. Project data:

REAL/OUTDOOR CONDITIONS	Temperature	Humidity
	34.7T35 °C	40% rH
REAL/INDOOR CONDITIONS	Temperature	Humidity
	28.1 °C	70% rH

The figures for outdoor and indoor (at the platform) conditions are worse than theoretical data, and are subject to change due to factors such as unexpected sources of heat, unfavourable enthalpies, air induction from tunnels etc.

Q = 90,000 m³/h for each platform
Outdoor air = 100%
Discharging air conditions: 27-28°C/70-80% r.H.
Water source: Canal Isabel II
Filtration: Etapa G4
Control: Automata CAREL Etapas Ventilador

System description

Initial project conditions



Solution

In order to obtain these conditions we installed a high-pressure atomization unit, with suitable flow and a stainless steel frame including the nozzles needed to nebulize and cool the air.

The main components of the system are:

- Pumping station
- Water distribution and atomization system: nozzles, solenoid valves, connection pipes and coupling units.
- Water treatment system

A special pump generates high pressure water, which is then atomised through stainless steel nozzles, producing a very fine and uniform mist. The droplets created evaporate spontaneously, consequently humidifying and cooling the air. The sophisticated control system combines the action of an inverter, which controls the pump flow-rate, and a series of solenoid valves that activate only the nozzles required, ensuring the system always operates at the optimum pressure to atomise the water, over a wide range of flow-rates

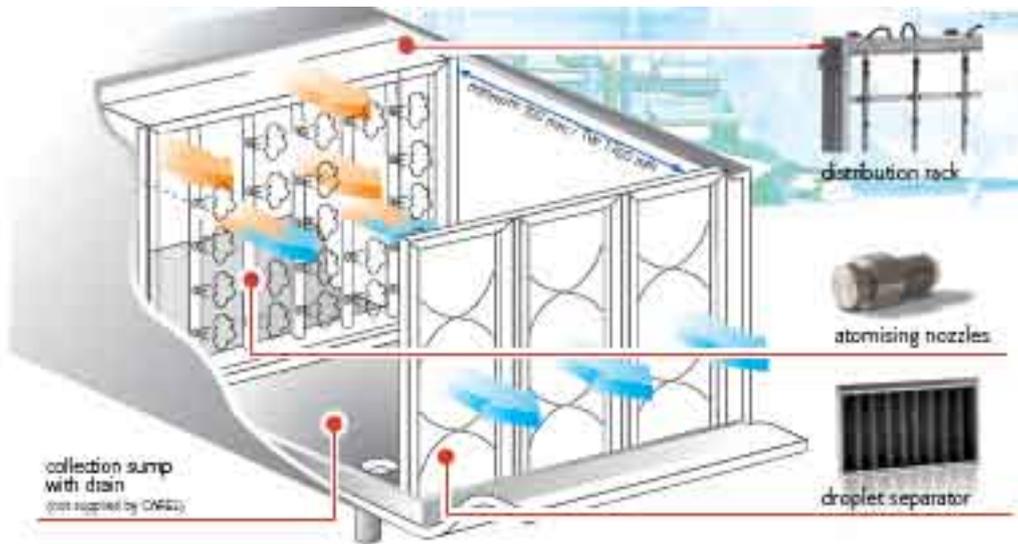
The average diameters of the droplets are 10-15 μm so that they are quickly absorbed by the air, humidifying and cooling it.



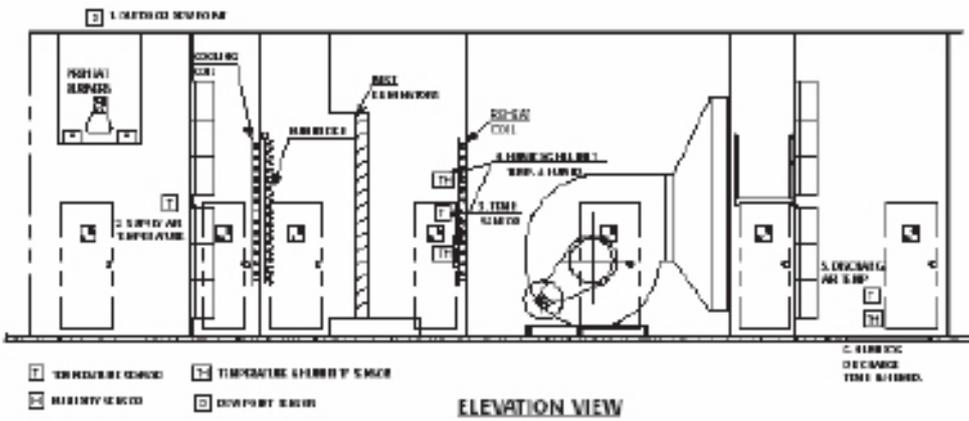
Live mist raising the relative humidity of the air

The droplet separator, made of stainless steel, has the purpose of trapping the droplets of water that are not completely evaporated, so as to prevent them from leaving the humidification chamber. Pressure drop across the drop separator may vary from 30 Pa when it is dry to 70 Pa when it is humid. As the speed through the filter was exceedingly high, we installed two parallel units, which means that loss of head due to the humid separator must remain around 140 Pa. It is important to add that the loss of head caused by the filtering area can reach 200 Pa when the filters are clogged.

Case Study: Adiabatic air conditioning at the Peñagrande subway station, Madrid, Spain

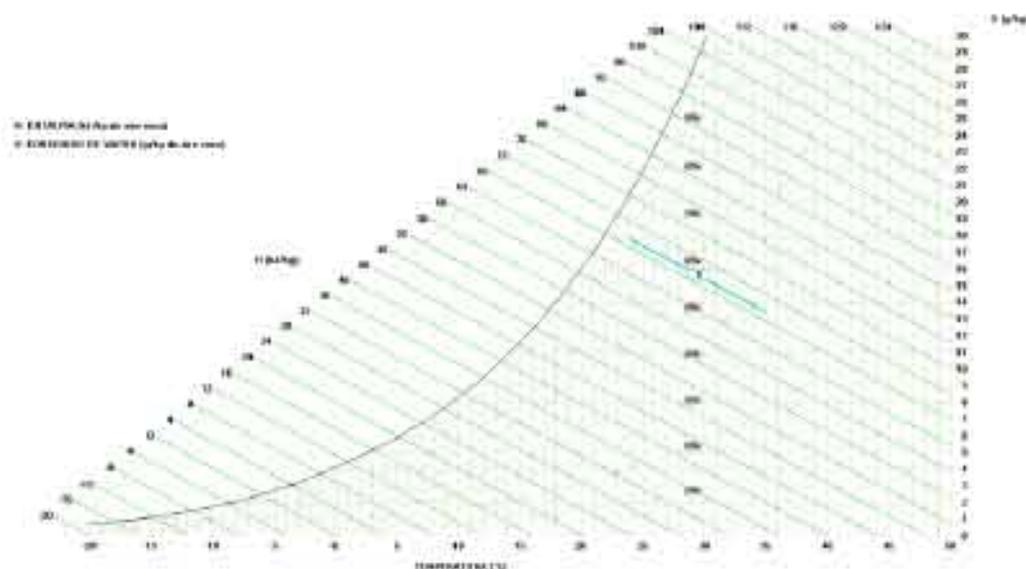


All the elements which constitute the system were installed using the free area found in the technical rooms, which had to be adapted for the system to function correctly.



new humiFog humidification system was to be installed in the Air Handling Unit

For the control of the cooling system, which only includes regulation according to the temperature at the platforms, the humidifier is proportionally modulated and the system manages the two speeds of the fans (one per platform). The other probes are used to record variables and to optimise the humidification system.



Energy Analysis

INCOMING AIR			OUTCOMING AIR		
Relative humidity	40.0%	rH	Relative humidity	70.0%	rH
Temperature	35.0	°C	Temperature	27.1 °C	°C
Specific humidity (x1)	14.1	g/kg	Specific humidity (x2)	17.3	g/kg
Difference x2-x1				3.2	g/kg

As previously mentioned, the loss of head created by the installation of the new elements is of about 300 Pa.

This means that the expected flow of 90,000 m³/h in high speed and 45,000 m³/h in low speed was markedly reduced.

Due to the complexity of assembly and disassembly of the drop separator, the following calculations were made using flow figures, with and without the filtering phase, with these results:

CLIMATIZATION WITHOUT A FILTERING PHASE:

Air flow at low speed: 44,282 m³/h

Air flow at high speed: 93,000 m³/h

CLIMATIZATION WITH A FILTERING PHASE:

Air flow at low speed: 31,312 m³/h

Air flow at high speed: 71,818 m³/h

The water flow needed to lower air temperature from 35°C to 27.1°C, in the humidity conditions displayed on the table, is calculated with this formula (per platform):

$$Q = Q_{air} \times 1.2 \times (17.3 - 14.1) = 275.78 \text{ kg/h}$$

The power consumption of Humifog, for this flow, with a supply voltage of 230 V, one phase, 50 Hz, is 1150 W. As the system operated for 270 hours, this means the total consumption, in kWh, not including the power consumed by the fan, that is, the consumption of the humidification system only, is:

$$P = 270h \times 1150 \text{ W} = 310.50 \text{ kWh per platform}$$

The table below displays the total water consumption for the system:

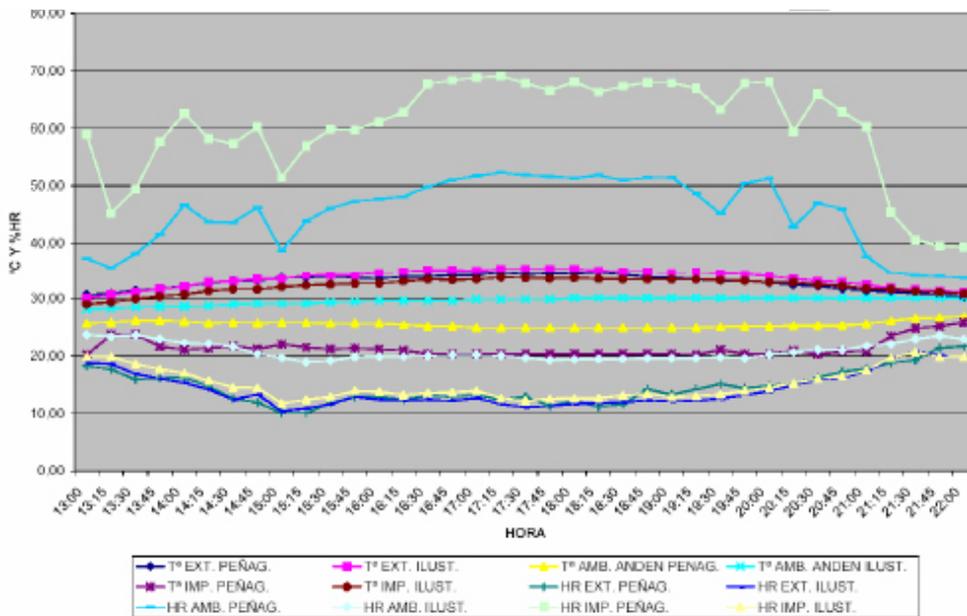
	Date	Counter	Reference temp.	Limit temp.	Limit humidity	Operation time	Total l/h
	2006/08/07						
Platform 1		5,300	26	20	75	140 h	38
Platform 2		7,666	26	20	75	140 h	54
	2006/08/11						
Platform 1		7,620	26	19	80	30 h	77
Platform 2		10,610	26	19	80	30 h	98
	2006/08/18						
Platform 1		10,140	26	19	80	50 h	46
Platform 2		13,500	26	19	80	50 h	58
	2006/08/25						
Platform 1		14,280	25	19	80	50 h	83
Platform 2		15,570	25	19	80	50 h	41

TOTAL AFTER 270 HOURS OF OPERATION: 29,850 l

The water flow was measured by using a flow meter with impulse emitter, with a frequency of 10 l/pulse.

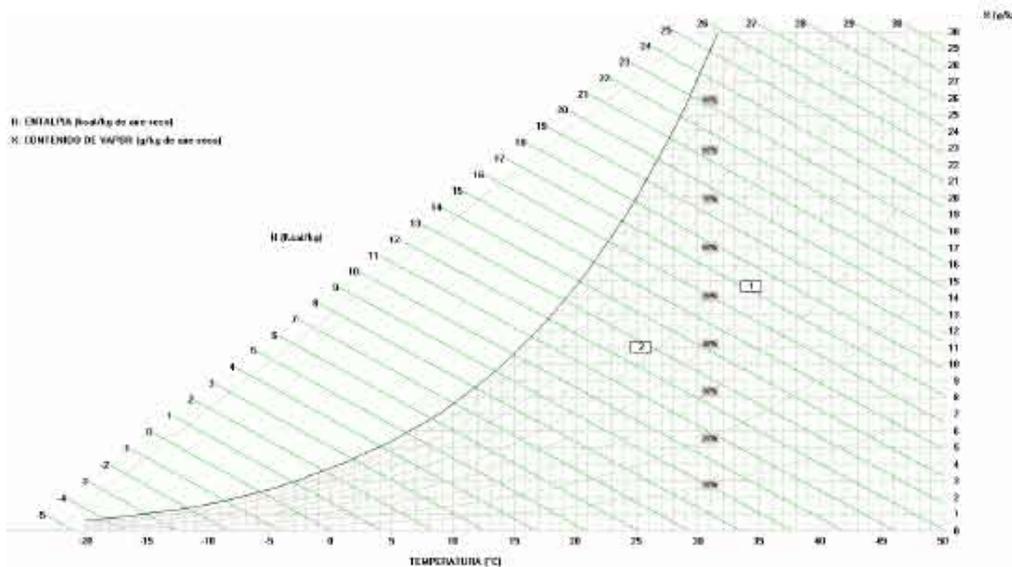
As can be seen in the following graph, which uses the figures collected during the operation period, on 3 September 2006 at 18:15 it was possible to achieve a temperature of approximately 25°C, with a relative humidity of 50-60%.

Case Study: Adiabatic air conditioning at the Peñagrande subway station, Madrid, Spain



When compared to traditional systems using direct expansion, water coolers with compressors, roof-tops etc, the fundamental advantage of the adiabatic cooling system is its low power consumption and low maintenance costs.

If we use the data obtained from 3 September to work on a calculation hypothesis, the following psychrometric transformation would be obtained:



The total cooling power can be calculated using this formula:

$$P = Q \times 1.2 (h_1 - h_2) = 71,818 \text{ m}^3/\text{h} \times 1.2 \times 4 \text{ kcal/kg} = 344,726 \text{ frig/h per platform}$$

This is the equivalent to the effect of an air conditioning system with a power consumption of about 143 kW, compared to 310,5 kWh at each platform consumed after 270 working hours.

Ce rapport tente de décrire le fonctionnement du système de climatisation adiabatique au niveau des plateformes de la station de métro Peñagrande, située à Camino de Ganapanes, Madrid, Espagne.

Nous décrivons donc les éléments qui constituent le système et la façon dont ils fonctionnent. L'installation de cette solution offre davantage de confort, en refroidissant l'environnement grâce à l'utilisation d'eau comme source d'énergie, et est considérablement plus économique que des systèmes de refroidissement classiques (par détente directe) ce qui consomme moins d'énergie.



Introduction

Station de métro Peñagrande,
Madrid, Espagne

En raison des conditions thermo-hygrométriques du centre ville, le système d'humidification/de refroidissement adiabatique s'avère très commode pendant les mois estivaux, puisque sa consommation d'énergie est sensiblement inférieure.

Description

CONDITIONS RÉELLES/ EXTÉRIEURES	Températures	Humidité
	34,7 à 35 °C	40% d'humidité relative
CONDITIONS RÉELLES/INTÉRIEURES	Températures	Humidité
	28,1 °C	70 % d'humidité relative

Les chiffres pour les conditions extérieures et intérieures (au niveau de la plateforme) sont pires que des données théoriques, et sont sujets à modification en raison de facteurs tels que des sources imprévues de chaleur, des enthalpies défavorables, de l'air induit des tunnels etc.

$Q = 90\,000\text{ m}^3/\text{h}$ pour chaque plateforme

Air extérieur = 100 %

Conditions d'évacuation de l'air : 27 à 28 °C / 70 à 80 % r.H.

Source d'alimentation en eau : Canal Isabel II

Filtrage : Etapa G4

Commande : Automata CAREL Etapas Ventilador

Afin d'obtenir ces conditions, nous avons installé une unité d'atomisation haute pression présentant un débit approprié et un cadre en acier inoxydable incluant les buses nécessaires pour nébuliser et refroidir l'air.

Conditions du projet initial



Solution

Les composants principaux du système sont :

- Une station de pompage
- Un système de distribution et d'atomisation de l'eau : des buses, des électrovannes, des tuyaux de raccordement et des unités de couplage
- Un système de traitement de l'eau

Une pompe particulière génère de l'eau haute pression qui est ensuite atomisée par l'intermédiaire de buses en acier inoxydable pour produire un brouillard très fin et uniforme. Les gouttelettes créées s'évaporent spontanément, avec pour conséquence une unification et un refroidissement de l'air. Le système de commande sophistiqué combine l'action d'un inverseur, qui commande le débit de la pompe, et une série d'électrovannes qui activent uniquement les buses requises, garantissant le fonctionnement permanent du système à la pression optimum pour atomiser l'eau, sur une large plage de débits.

Les diamètres moyens des gouttelettes sont de 10 à 15 μm de sorte qu'elles sont rapidement absorbées par l'air, en l'humidifiant et en le refroidissant.



Brouillard actif accroissant le taux d'humidité relative de l'air

Le séparateur de gouttelettes, en acier inoxydable, a pour objectif de piéger les gouttelettes d'eau qui ne se sont pas complètement évaporées, de façon à les empêcher de quitter la chambre d'humidification.

Une chute de pression d'un côté à l'autre du séparateur de gouttelettes peut varier de 30 Pa lorsqu'il est sec à 70 Pa lorsqu'il est humide. Du fait que la vitesse à travers le filtre était extrêmement élevée, nous avons installé deux unités parallèles ce qui signifie qu'une perte de charge due au séparateur humide doit rester autour de 140 Pa. Il est important d'ajouter que la perte de charge provoquée par la

AIR ENTRANT			AIR SORTANT		
Humidité relative	40,0 %	rH	Humidité relative	70,0 %	rH
Température	35,0	°C	Température	27,1	°C
Humidité spécifique (x1)	14,1	g/kg	Humidité spécifique (x2)	17,3	g/kg
			Différence x2-x1	3,2	g/kg

Tel que précédemment mentionné, la perte de charge créée par l'installation des nouveaux éléments est d'environ 300 Pa.

Cela signifie que le débit prévu de 90 000 m³/h à grande vitesse et 45 000 m³/h à faible vitesse a été sensiblement réduit.

En raison de la complexité de l'assemblage et du désassemblage du séparateur de gouttelettes, les calculs suivants ont été réalisés au moyen de chiffres de débit, avec et sans la phase de filtrage, et les résultats suivants étant obtenus :

CLIMATISATION SANS PHASE DE FILTRAGE :

Débit d'air à faible vitesse : 44 282 m³/h

Débit d'air à grande vitesse : 93 000 m³/h

CLIMATISATION AVEC PHASE DE FILTRAGE :

Débit d'air à faible vitesse : 31 312 m³/h

Débit d'air à grande vitesse : 71 818 m³/h

Le débit d'eau nécessaire pour abaisser la température de l'air de 35°C à 27,1°C, dans les conditions d'humidité présentées dans le tableau, est calculé au moyen de cette formule (par plateforme) :

$$Q = Q_{air} \times 1,2 \times (17,3 - 14,1) = 275,78 \text{ kg/h}$$

La consommation d'énergie du système Humifog, pour ce débit, avec une tension d'alimentation de 230 V, une phase, 50 Hz, est de 1150 W. Etant donné que le système a fonctionné pendant 270 heures, cela signifie que la consommation totale, en kWh, hors énergie consommée par la soufflante, c'est-à-dire, la consommation du seul système d'humidification, est :

$$P = 270 \text{ h} \times 1150 \text{ W} = 310,50 \text{ kWh par plateforme}$$

Le tableau ci-dessous présente la consommation totale d'eau pour le système :

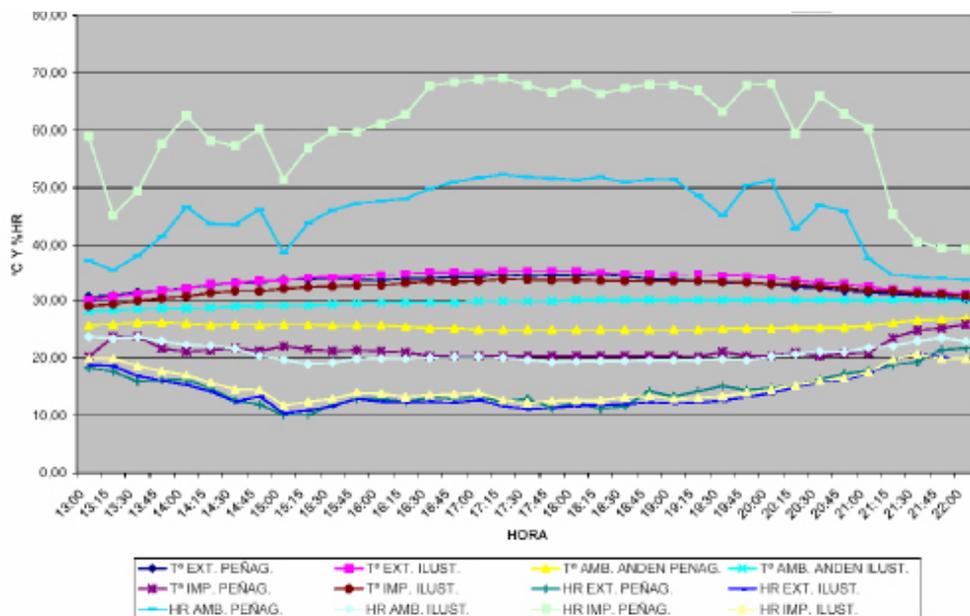
	Date	Compteur	Température de référence	Température limite	Humidité limite	Temps de fonctionnement	Total l/h
	2006/08/07						
Plateforme 1		5 300	26	20	75	140 h	38
Plateforme 2		7 666	26	20	75	140 h	54
	2006/08/11						
Plateforme 1		7 620	26	19	80	30 h	77
Plateforme 2		10 610	26	19	80	30 h	98
	2006/08/18						
Plateforme 1		10 140	26	19	80	50 h	46
Plateforme 2		13 500	26	19	80	50 h	58
	2006/08/25						
Plateforme 1		14 280	25	19	80	50 h	83
Plateforme 2		15 570	25	19	80	50 h	41

TOTAL APRES 270 HEURES DE FONCTIONNEMENT : 29 850 L

Le débit d'eau a été mesuré au moyen d'un débitmètre avec émetteur d'impulsions à une fréquence de 10 l/impulsion.

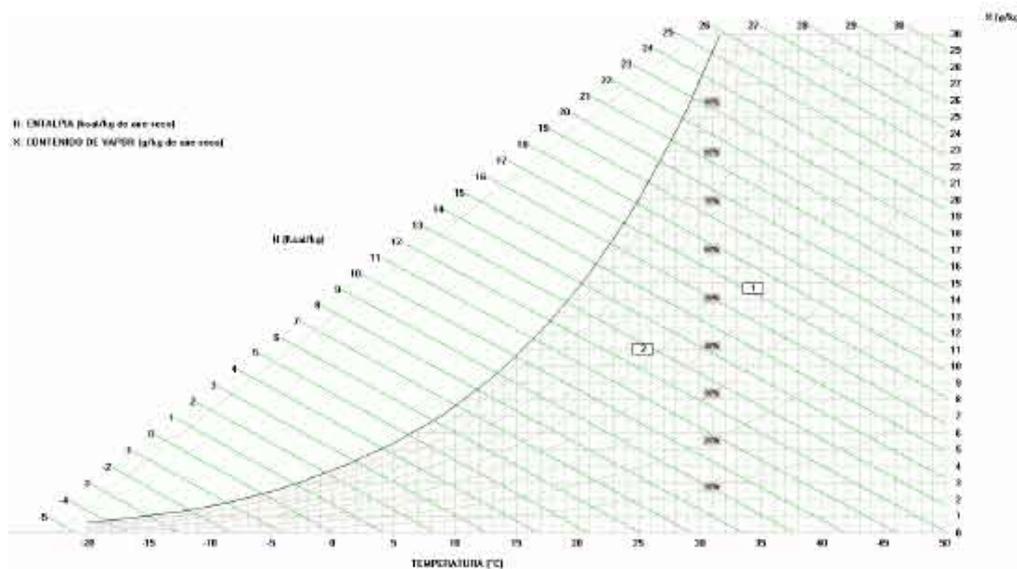
Comme on peut le constater sur le graphique suivant, qui utilise les chiffres collectés au cours de la période de fonctionnement, le 3 septembre 2006 à 18h15, il a été possible d'atteindre une température d'approximativement 25 °C avec un taux d'humidité relative de 50 à 60 %.

Analyse de la consommation en eau du système de refroidissement adiabatique dans la station Peñagrande



Par comparaison avec des systèmes classiques utilisant une détente directe, les systèmes de refroidissement à eau avec compresseurs, sur le toit, etc., l'avantage essentiel du système de refroidissement adiabatique est sa faible consommation d'énergie et ses faibles frais d'entretien.

Si nous utilisons les données obtenues à partir du 3 septembre pour travailler sur une hypothèse de calcul, la transformation psychrométrique suivante serait obtenue :



La puissance de refroidissement totale peut être calculée grâce à la formule suivante :

$$P = Q \times 1,2 (h_1 - h_2) = 71\,818 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,2 \times 4 \text{ kcal/kg} = 344\,726 \text{ frig/h par plateforme}$$

Ceci constitue l'équivalent de l'effet d'un système de climatisation avec une consommation d'énergie d'environ 143 kW, par comparaison avec la consommation de 310,5 kWh au niveau de chaque plateforme après 270 heures d'exploitation.

Headquarters

CAREL S.p.A.
Via dell'Industria, 11 - 35020 Brugine - Padova (Italy)
Tel. (+39) 0499 716611 - Fax (+39) 0499 716600
carel@carel.com - www.carel.com

Subsidiaries

CAREL Australia Pty Ltd
www.carel.com.au
sales@carel.com.au

CAREL China Ltd.
www.carelhk.com
info@carelhk.com

CAREL Deutschland GmbH
www.carel.de
info@carel.de

CAREL Export
www.carel.com
carelexport@carel.com

CAREL France Sas
www.carelfrence.fr
carelfrence@carelfrence.fr

CAREL Italia
www.carel.com
carelitalia@carel.com

CAREL Ibérica
Automatización y Control ATROL S.L.
www.carel.es
atrol@atrol.es

CAREL Sud America Ltda.
www.carel.com.br
carelsudamerica@carel.com.br

CAREL U.K. Ltd.
www.careluk.co.uk
careluk@careluk.co.uk

CAREL USA L.L.C.
www.carelusa.com
sales@carelusa.com

Affiliates:

CAREL Korea Co. Ltd.
www.carel.co.kr
info@carel.co.kr

CAREL (Thailand) Co. Ltd.
www.carel.co.th
info@carel.co.th