

## ENSAYO DE UN CONJUNTO EVAPORADOR EYECTOR.

Adriana Ovejero, Graciela Lesino<sup>1</sup>.  
 Universidad Nacional de Salta. Facultad de Ciencias Exactas.  
 Departamento de Física. INENCO.  
 Avda. Bolivia 5150. Salta. C.P: 4400.  
 Tel: (0387) 4255424. Fax: (0387) 4255489.  
 e-mail: [ovejero@inenco.net](mailto:ovejero@inenco.net) - [lesino@unsa.edu.ar](mailto:lesino@unsa.edu.ar)

**RESUMEN:** Se realizaron experiencias a escala de laboratorio de un conjunto evaporador – eyector. La disminución de presión se logra utilizando un eyector de chorro de líquido. Este evaporador permite obtener altas eficiencias con bajas diferencias de temperatura entre la entrada y la salida. Se comparan los resultados obtenidos con valores de experiencias realizadas en años anteriores. Se analizan las modificaciones realizadas al diseño experimental, en vista de aplicarlas a trabajos futuros en el diseño de un evaporador a mayor escala.

**Palabras claves:** evaporación por flash, eyector, presión.

### INTRODUCCION

Un evaporador por flash trabaja de la siguiente manera: el agua sube por uno o más tubos verticales internos que se encuentran dentro del evaporador, el agua al encontrarse con una zona de menor presión se esparce como una lluvia de gotas y se vaporiza.

La gran área interfacial producida por el spray implica una eficiencia que excede el 80%. Resultados experimentales indican que la altura activa del tubo, definida como la distancia vertical entre la salida del tubo y el agua depositada en el evaporador tienen poca influencia sobre la eficiencia del mismo, excepto por un leve incremento con el incremento de la altura del tubo. La evaporación por flash que ocurre en evaporadores de tubo surtidor vertical, son una mejor propuesta para sistemas que trabajan a baja temperatura por las siguientes razones (Fournier et al., 1985), (Bharathan et al.,1984), (Zangrando et al., 1990):

- ⇒ Pequeño salto térmico.
- ⇒ Entrada simple y múltiples salidas.
- ⇒ Alta eficiencia.
- ⇒ Volumen pequeño.
- ⇒ Bajos costos de fabricación.
- ⇒ Baja susceptibilidad a la corrosión y a la suciedad.

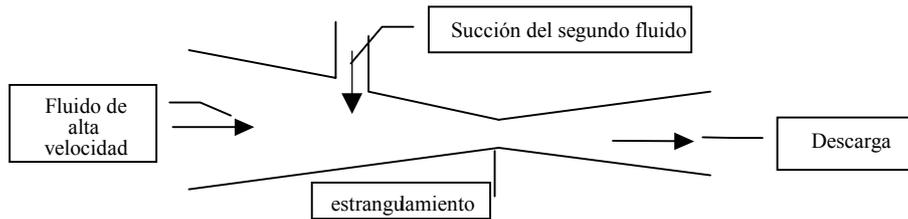
Dado que el evaporador por flash a bajas temperaturas trabaja a presión subatmosférica, se debe tener en cuenta que la técnica para realizar vacío cambia mucho conforme al rango de vacío que se pretende realizar. En la Tabla 1, se pueden observar los rangos de aplicación de los distintos tipos de sistemas de vacío.

Vacío ultraelevado ( $1.10^{-10}$ – $1.10^{-13}$ ) atm	Vacío alto ( $1.10^{-6}$ – $1.10^{-10}$ ) atm	Vacío medio ( $1.10^{-3}$ – $1.10^{-6}$ ) atm	Vacío grueso ( $1$ – $1.10^{-3}$ ) atm
Bombas criogénicas  Bombas iónicas	Bombas por difusión  Bombas moleculares	Bombas por difusión  Bombas por propulsión  Bombas rotatorias	Bombas mecánicas Eyector Bomba de gas en una etapa Bomba de gas en dos etapas

**Tabla 1: Rangos de aplicación de los distintos tipos de bomba.**

<sup>1</sup> Investigadora del CONICET  
 Proyecto parcialmente financiado por el CONICET.

En las experiencias que se realizaron se trabajó en el rango del vacío grueso. El vacío se obtuvo utilizando un eyector de chorro de líquido. Un eyector es un dispositivo en el cual se mezcla un chorro de fluido de alta velocidad con la corriente de un segundo fluido, proveniente del recinto donde se desea hacer vacío. La mezcla se descarga dentro de una región de presión más alta que la del segundo fluido. El eyector bombea al segundo fluido de un lugar a otro de mayor presión, como se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1 – Esquema de un eyector.**

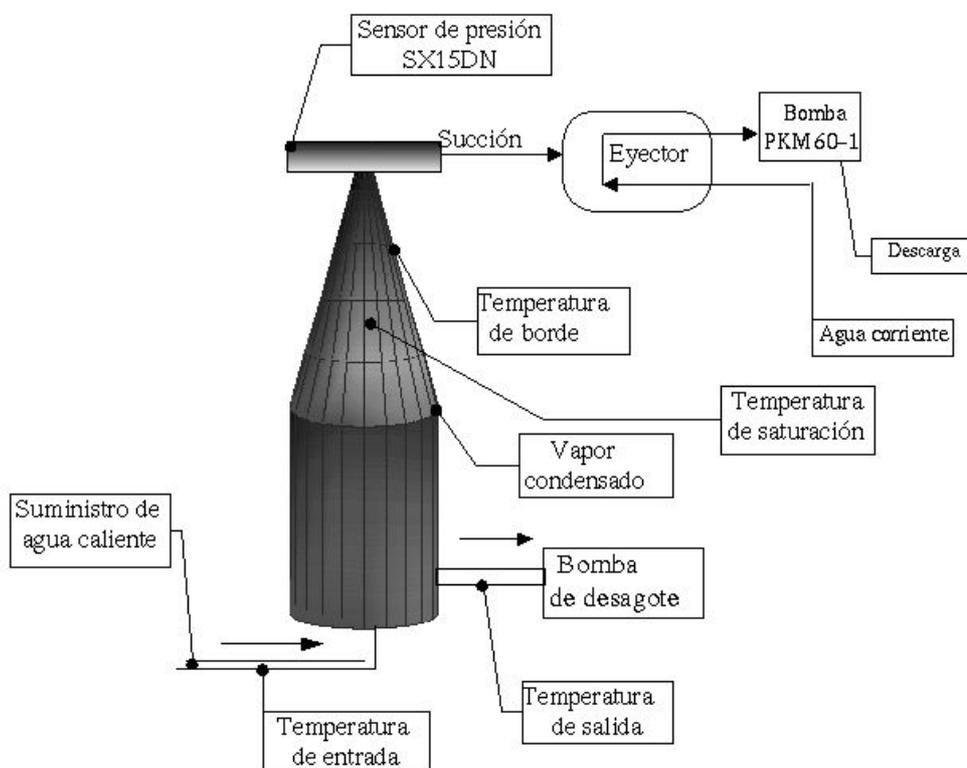
Entre las ventajas de utilizar un eyector de chorro de líquido se pueden mencionar las siguientes:

- ⇒ Requiere un bajo mantenimiento.
- ⇒ Presenta un bajo costo como alternativa frente a otros sistemas de vacío.
- ⇒ Su construcción es simple y consiste de una cámara de succión, una boquilla difusora y una motriz.
- ⇒ Típicamente el difusor y la cámara de succión se fabrican de una sola pieza.
- ⇒ El fluido motor puede ser tanto líquido como gas.

### DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

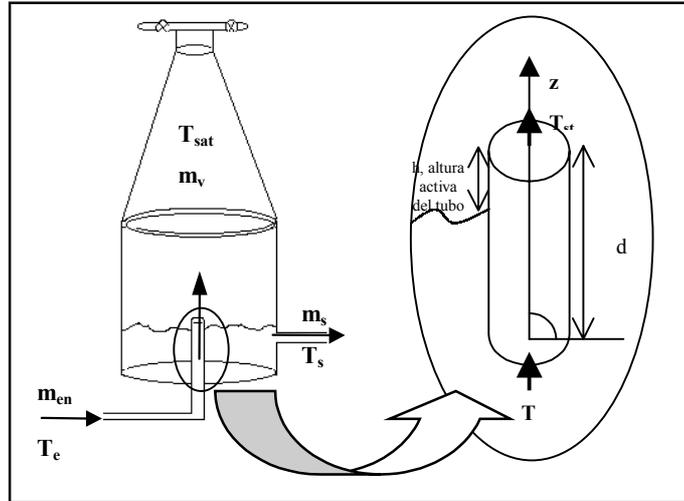
En las experiencias realizadas en años anteriores, el vacío se obtenía utilizando una bomba mecánica de vacío. En las nuevas experiencias se reemplazó la misma con un eyector chorro líquido, con el cual se pretende extraer los incondensables para mantener la presión de operación dentro del evaporador y extraer el vapor generado comprimiéndolo y condensándolo.

En la Figura 2 se puede observar la configuración de la experiencia de laboratorio, la que está compuesta por: un eyector chorro-líquido, una bomba de desagote, resistencias para el calentamiento del agua, un tanque para el suministro del agua caliente y el evaporador. Por otra parte el equipo de adquisición de datos cuenta con: ND-6018, ND-6520, ND-6017, termocuplas (cobre-constantán), un sensor de presión SX15DN y una computadora. En las experiencias realizadas se controló la presión, las temperaturas de funcionamiento y el caudal de entrada en el evaporador.



**Figura 2-Equipo utilizado para las experiencias de laboratorio.**

En la Figura 3, se puede observar un esquema de la parte interna del evaporador, en la misma se indican las temperaturas de trabajo. El agua caliente ingresa al evaporador por su parte inferior. Cuando llega a la salida del tubo vertical se encuentra en una zona de menor presión, produciéndose la evaporación por flash. El vapor producido en el interior del recinto se condensa en el cono superior, se recoge en la canaleta entre la parte cónica y cilíndrica del evaporador o es extraído por el eyector.



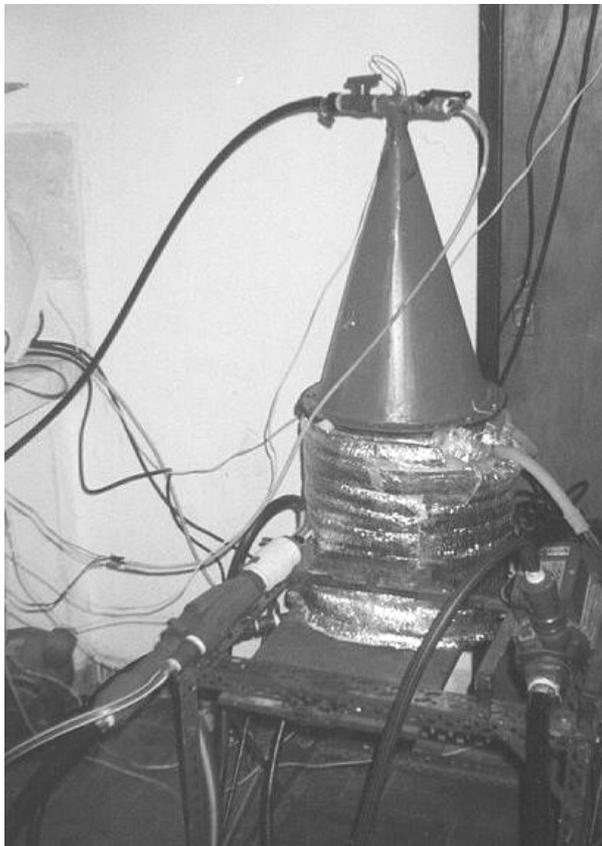
**Figura 3 – Vista interna del evaporador por flash.**

Con los valores medidos de temperatura se obtiene la producción de vapor y la eficiencia del evaporador, utilizando las siguientes ecuaciones (1) y (2).

$$\varepsilon = \frac{T_{entrada} - T_{salida}}{T_{entrada} - T_{saturacion}} \quad (1)$$

$$m_{vapor} = \frac{m_{en} \cdot C_{pl} \cdot (T_{entrada} - T_{salida})}{h_{fg}} \quad (2)$$

En las Figuras 4 y 5 respectivamente, se puede observar una vista del ensayo de laboratorio junto al eyector utilizado .



**Figura 4 – Vista del ensayo de laboratorio.**



**Figura 5 – Eyector utilizado en la experiencia.**

## RESULTADOS OBTENIDOS

### a) Experiencias anteriores

Se cuenta con los datos experimentales (Ovejero, et al. 2000) que se obtuvieron al realizar la mencionada experiencia. En ellas se trabajó solamente con una bomba de vacío sin utilizar el eyector de chorro de líquido. En la Figura 6 se muestra los valores de eficiencias obtenidos para una de las experiencias realizadas, se puede observar que se produjo una disminución en la eficiencia del funcionamiento del evaporador. En la Figura 7 se muestran los valores de las diferencias de temperaturas con los que se calculó la eficiencia del mismo.

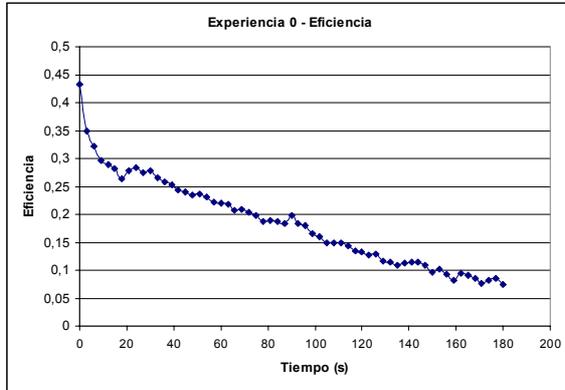


Figura 6 – Eficiencia.

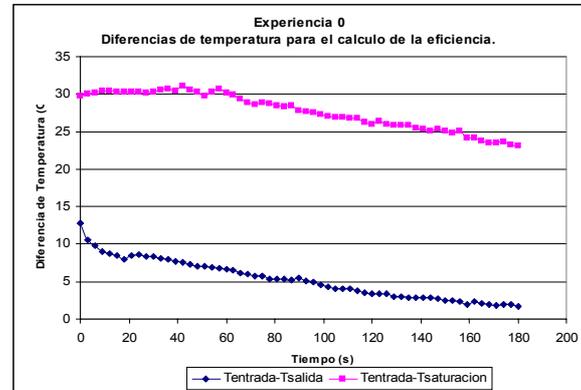


Figura 7 – Diferencia de Temperatura.

En aquellas experiencias no se producía la total condensación del vapor, existían filtraciones de aire en los sellos del evaporador lo que provocaba un incremento de la presión en el interior del mismo.

### b) Nuevas Experiencias

En las nuevas experiencias que se efectuaron, con la introducción del eyector chorro-líquido al equipo, se logró mejorar el funcionamiento del evaporador al lograr mantener una presión de operación prácticamente constante en el transcurso de la experiencia. A continuación se muestran los resultados experimentales obtenidos de las experiencias más significativas.

#### Experiencia 1

El vacío se realizó con la ayuda del eyector, como puede observarse en la Figura 8, se logró obtener una presión de operación constante superior a los 60000 Pa, lo que llevó a una eficiencia que se mantuvo en primera instancia en el valor de 0.4 seguida de una disminución hasta el valor de 0.25. El cambio de las condiciones de funcionamiento se debe al accionamiento de la bomba de desagote, produciéndose el incremento de presión en el interior del evaporador a partir de los 140 s. En la Figura 9 se muestran los valores de las diferencias de temperaturas con los que se calculó la eficiencia del evaporador.

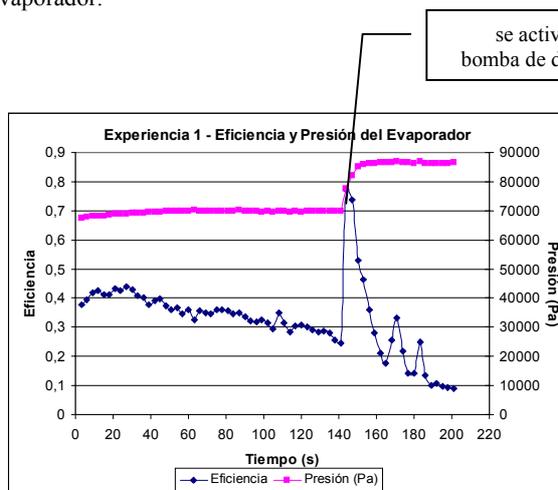


Figura 8 – Eficiencia y Presión del Evaporador.

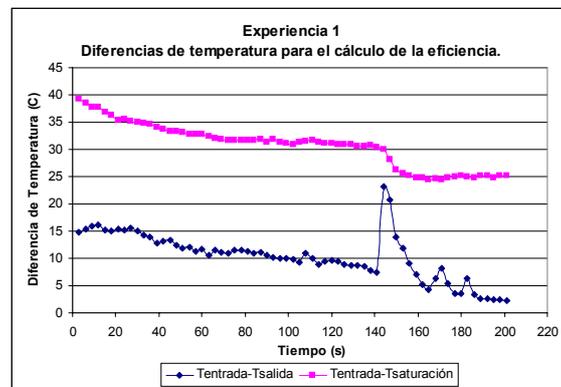


Figura 9 – Diferencias de Temperaturas.

## Experiencia 2

En esta experiencia el vacío se realizó con la ayuda del eyector. En la Figura 10 se puede observar que la eficiencia se encuentra alrededor del valor de 0.6, para una presión que se mantiene cercana a los 70000 Pa. Posteriormente se observa una disminución de la eficiencia hacia el valor de 0.3 acompañada de un inicial aumento de presión. Esto se produjo debido a que en ese momento había sido activada la bomba de desagote, sin embargo se puede observar en la Figura 10 que a diferencia de la experiencia anterior, se logra disminuir posteriormente la presión hacia los 70000 Pa, manteniéndose la eficiencia alrededor de 0.3.

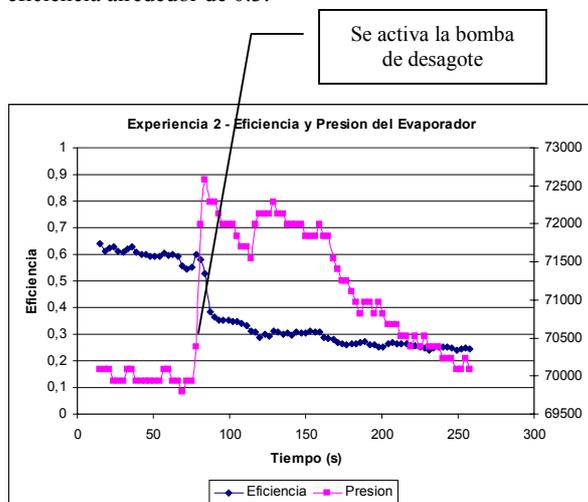


Figura 10 – Eficiencia y Presión del Evaporador.

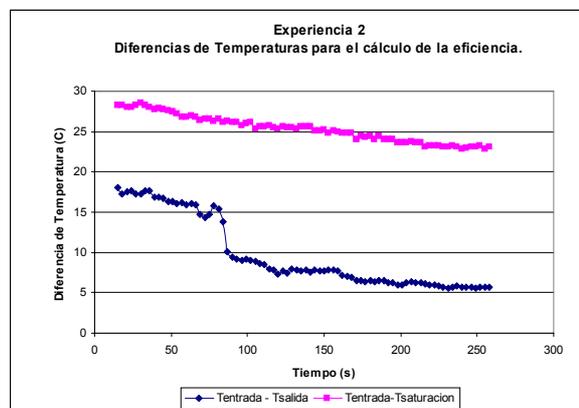


Figura 11 – Diferencias de Temperaturas.

## Experiencia 3

Debido al inconveniente que se producía con la bomba de desagote, se reemplazó la misma con el eyector, ensayándose otra posible aplicación del mismo en el sistema. En ésta experiencia el vacío se generó con una bomba mecánica. En la Figura 12 se puede ver que para una presión que oscila alrededor de los 66500 Pa, se obtiene una eficiencia que se mantiene entre el valor de 0.5 y 0.6.

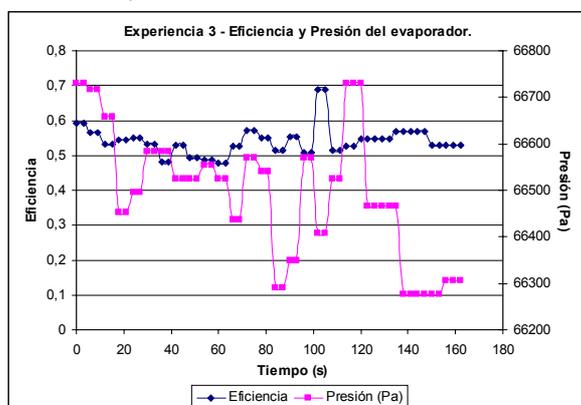


Figura 12 – Eficiencia y Presión del Evaporador.

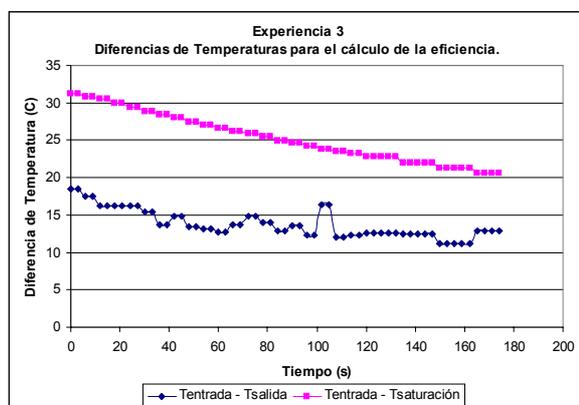


Figura 13 – Diferencias de Temperaturas.

### c) Comparación con las experiencias anteriores

En la Tabla 2, se sintetiza la comparación entre las experiencias anteriores y las realizadas.

Experiencia	Producción de vacío	Presión inicial (Pa)	Temperatura de entrada (C)	Caudal de entrada (Kg/s)	Comportamiento de la eficiencia	Comportamiento de la Presión
0	Bomba mecánica	61000	65	0.015	disminución (0.4 – 0.1)	se incrementa
1	Eyector chorro líquido	70000	70	0.015	se mantiene entre 0.4 y 0.3	Constante 70000 Pa
2	Eyector chorro líquido	70000	65	0.015	se mantiene alrededor de 0.6	Constante 70000 Pa
3	Eyector y Bomba	66700	55	0.015	se mantiene entre 0.6 y 0.5	se mantiene entre (66300 – 66700) Pa

Tabla 2 – Comparación entre las experiencias.

A partir de la comparación entre las experiencias realizadas, se puede observar que con la adición del eyector al equipo experimental, se logra mejorar el funcionamiento del evaporador al mantener una presión de operación prácticamente constante. Lo que lleva a que la eficiencia del evaporador no disminuya en el transcurso de la experiencia.

## CONCLUSIONES

- Con la adición del eyector al equipo experimental, se logró mantener la presión de operación del evaporador e incrementar la eficiencia.
- La extracción de incondensables, la reducción de las filtraciones de aire al recinto y una adecuada condensación del vapor producido son factores de suma importancia para mantener la presión de operación del evaporador por flash.
- Con un equipo de bajo costo se logró obtener una elevada eficiencia para bajas diferencias de temperaturas.
- Las modificaciones realizadas al sistema de vacío con el cual funcionó el evaporador, se tendrán en cuenta en el posterior diseño de un evaporador a mayor escala.

## NOMENCLATURA

$m_{in}$	: Caudal de entrada, (Kg/s)
$C_{pl}$	: Calor específico del líquido, (KJ/Kg K)
$h_{fg}$	: Calor latente, (KJ/Kg)
$T_{en}$	: Temperatura de entrada, (K)
$T_{sat}$	: Temperatura de saturación, (K)
$T_s$	: Temperatura de salida, (K)
$\epsilon$	: Eficiencia del evaporador.

## BIBLIOGRAFIA

- Bharathan D., et al. (1984). Flash Evaporation from Turbulent Water Jets. *Journal of Heat Transfer*. Vol. 106 (2), May 1984; pp. 407-416.
- Ghiaasiaan, S.M., et al. (1989). A Semi-Empirical Model for an OC-OTEC Spout Flash Evaporator. *Ocean Energy Recovery*, pp.275-285.
- Bharathan D., et al. (1990). Conceptual Design of Open Cycle Ocean Thermal Energy Conversion Net power producing Experiment. (OC-OTEC NPPE). SERI/TP-253-3616.
- Ovejero, A., et al. (2000). Resultados Preliminares del Comportamiento de un Evaporador por Flash a Escala de Laboratorio para Generación de Electricidad a baja Temperatura. *Actas de la XXIII Reunión de Trabajo de ASADES*. Vol 4, N1, pp 3.43-3.48. Resistencia, Argentina.

## ABSTRACT

Experiments were carried out using a flash evaporator-liquid jet ejector unit. Efficiencies of 0,6 for steam production, with a low difference of temperature between the inlet and the outlet of the evaporator, were achieved. The results were compared to values of experiments performed in previous years. Modifications were analyzed in view of their application to future work in the design a major scale evaporator.

**Keywords:** flash evaporator, ejector, pressure.