تكنولوژي جديد مبدل هاي حرارتي صفحه اي در راستاي بهينه سازي مصرف انرژي

انوشيروان فرشيديان فر [۱]، اردشير فرشيديان فر [۲] و ندا نيک مهر [۳]

دانشيار، دانشگاه فردوسي مشهد-گروه مكانيک؛ farshid@ferdowsi.um.ac.ir

كارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامي مشهد- گروه مكانيک؛ farshid@um.ac.ir

كارشناس، شركت طاها قالب طوس؛ neda.nickmehr@gmail.com

چكيده

تبادل حرارتي ميان دو يا چند سيال با دماهاي مختلف در اغلب فرآيندهاي صنعتي، تجاري و خانگي اتفاق مي افتد و معمولا بدين منظور از مبدل هاي حرارتي استفاده مي شود.

درصنعت بسته به محدوده درجه حرارت، فشار و شرايط كاري و عملياتي، مبدلها به شكل هاي مختلف طراحي و ساخته مي شوند. شدت رقابت در بازارهاي جهاني و نياز روز افزون به صرفه جويي در مصرف انرژي و كاهش اثرات زيست محيطي فرآيندها سبب شده است كه مصرف كنندگان به سمت استفاده از مبدل هاي با كارايي بالا متمايل شوند. در اين مقاله ضمن معرفي كامل نسل جديدي از مبدل هاي حرارتي تحت عنوان مبدل هاي صفحه اي، به مقايسه آنها با مبدل هاي پوسته و لوله سنتي پرداخته و عملكرد مناسب مبدل هاي صفحه اي را در جلوگيري از اتلاف حرارت و سوخت بررسي مي كنيم.

مقدمه

مبدل هاي حرارتي صفحه اي بسيار متنوع بوده و در بخش هاي مختلف صنعت همانند صنايع غذايي، شيميائي، نفت، داروسازي، دريائي و تاسيسات حرارتي و برودتي كاربردهاي فراواني دارند. پيشرفتهاي اخيري كه در تكنولوژي توليد و ساخت اين نوع از مبدلها بوجود آمده است منجر به كاهش هزينه هاي توليد شده و همچنين با توجه به اهميت فراوان مديريت و بهينه سازي مصرف انرژي و عملكرد مناسب مبدل هاي صفحه اي در راستاي تحقق اين هدف، افزايش روز افزون كاربرد آنها در صنعت تاسيسات مشاهده مي شود.

از مبدل هاي صفحه اي براي گرمايش آب گرم مصرفي بطور چشم گيري استفاده مي شود، در اين سيستم آب گرم با هر دما و هر مقدار مورد نياز بصورت دائمي در اختيار مصرف كننده قرار گرفته و به عبارت ديگر تمام نشدني است. همچنين در اين سيستم توليد آب گرم فوري، مي توان آب را با دماي لازم توليد و در همان دما مصرف نمود؛ كه سبب صرفه جويي زيادي در انرژي و مصرف آب خواهد شد.

مبدل هاي حرارتي صفحه اي متشكل از مجموعه اي مستطيلي از صفحات فلزي موج دار بوده كه توسط يک قاب در كنار يكديگر ثابت نگه داشته شده و دو سيال سرد و گرم به صورت يک در ميان، بين آنها جريان دارند.

ايده اوليه اين نوع از مبدل ها اولين بار توسط يک آلماني به نام آلبرت دراک [۱] در سال ۱۸۷۸ [۱] به ثبت رسيد، سپس در سال ۱۸۹۰ [۲] ، دو مخترع آلماني ديگر به نام هاي لاگن [۲] و هاندهاسن [۳] طرح اوليه را تكميل نموده و در سال ۱۹۳۱ [۳] ، اولين مبدل حرارتي صفحه اي با ضخامت ۵ تا ۱۰ميلي متر ساخته شد، در سال ۱۹۶۰ توليد اين گونه مبدل ها وارد مرحله

۱- Albert Drack

۲- Langen

۳- Hundhausen

جديدي شد [۴و۵] ، در سال ۱۹۷۷ نوع لحيم كاري شده به بازار عرضه گرديد و نهايتا در سال ۲۰۰۳ تكنولوژي جديد آلفا فيوژن معرفي شد. امروزه مبدل هاي حرارتي از ورق هاي با جنس هاي متنوع و ضخامت۰/۴ ميلي متر ساخته شده اند كه قادر به توليد سطح حرارتي برابر ۲۰۰۰ متر مربع در يک واحد مبدل مي باشند.

در اين مقاله ضمن معرفي كامل انواع متفاوت مبدل هاي حرارتي صفحه اي، قطعات سازنده و نحوه عملكرد آنها، به بررسي پارامترهاي طراحي مي پردازيم و در پايان با انجام مقايسه اي بين فوايد اين نوع از مبدل ها و مبدل هاي پوسته و لوله، نقش موثر مبدل هاي صفحه اي را در كاهش مصرف سوخت مطالعه مي كنيم.

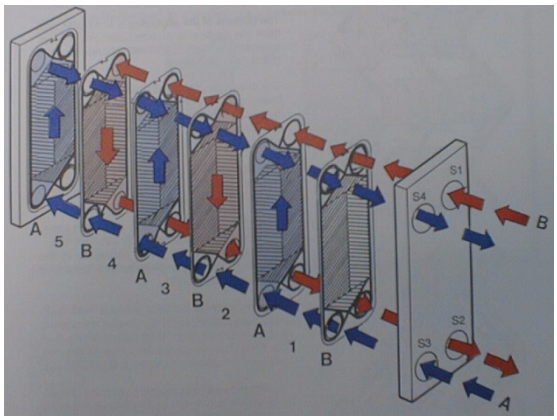
معرفي مبدل هاي حرارتي صفحه اي و قطعات سازنده

مبدل هاي حرارتي صفحه اي به چهار دسته مختلف تقسيم بندي مي شوند:

۱- مبدل صفحه اي واشردار[۴]، ۲- مبدل صفحه اي لحيم شده[۵]، ۳- مبدل صفحه اي حلزوني[۶]، ۴- مبدل لاملا[۷]. در ادامه به بررسي مبدل هاي حرارتي صفحه اي واشردار، اصول طراحي و كاربرد آنها مي پردازيم.

مبدل هاي حرارتي صفحه اي واشردار

مبدل حرارتي صفحه اي واشردار و مسيرهاي جريان آن، در شكل (۱) نشان داده شده است [۶].



شكل ۱ : نمودار مسير جريان در يک مبدل صفحه اي واشردار [۶]

اين نوع از مبدل ها از هشت بخش اصلي تشكيل شده اند (شكل (۲))، اين اجزا عبارتند از:

۱- صفحه ثابت يا صفحه قاب[۸] كه معمولا چهار دهانه ورودي و خروجي سيال بر روي آن قرار گرفته است.

۲- صفحه فشار يا صفحه متحرک[۹] كه نقش آن ايجاد فشار بر روي صفحات مي باشد. اين صفحات معمولا از فولادهاي كربني ساخته شده و سپس با مواد ضد زنگ و يک لايه رنگ جهت جلوگيري از خطر خوردگي پوشيده مي شوند.

۴- Gasketed-plate heat exchanger
۵- Brazed plate heat exchanger
۶- Spiral plate heat exchanger
۷- Lamella heat exchanger
۸- Fixed plate or frame plate
۹- Pressure plate

۳- مجموعه صفحات واشربندي شده كه در واقع هر دو سيال سرد و گرم يک در ميان در بين آنها جريان دارند. واشرها علاوه بر هدايت سيال مانع از نشت آن به بيرون شده و از آميخته شدن دو سيال با هم جلوگيري مي كنند.

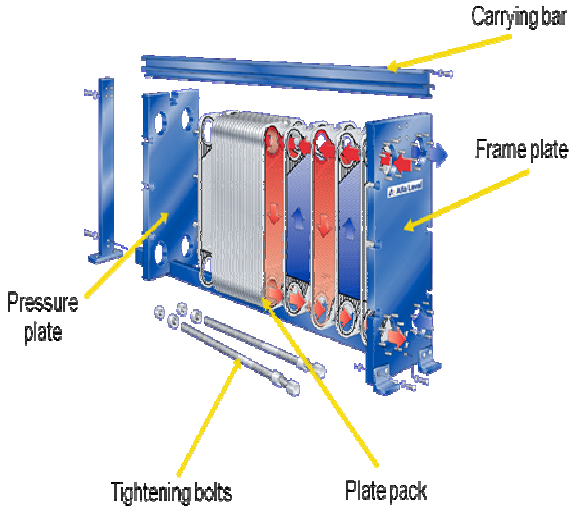
۴- ميله حامل بالايي [۱۰] كه صفحات را نگه داري كرده و معمولا از جنس آلومينيوم يا فولاد كربني رنگ شده مي باشد.

۵- ميله هادي پاييني[۱۱] كه وظيفه هدايت صفحات را به عهده داشته و معمولا از جنس استنلس استيل (فولاد زنگ نزن) ساخته مي شود.

۶- ميله و پيچهاي اتصال [۱۲]، اين اتصالات به كمک دو صفحه ثابت و صفحه فشار مجموعه صفحات واشربندي شده را تحت فشار قرار داده تا سيستم از درون بتواند فشار سيال عبوري را تحمل كند.

۷- مجاري اتصال دهنده[۱۳] كه معمولا بر روي صفحه ثابت تعبيه شده به طوري كه در امتداد سوراخهاي صفحات قرار مي گيرند و وظيفه اتصال به سيستم لوله كشي را دارند، اتصالات و نازلها معمولا از جنس صفحات ساخته مي شوند تا بدين وسيله از خوردگي هاي الكتروشيميايي جلوگيري كنند.

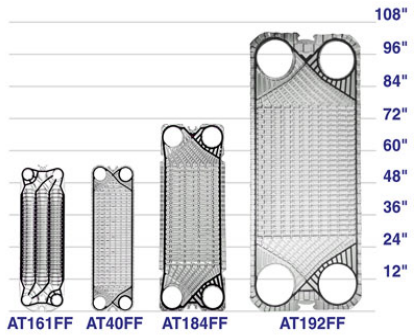
۸- پايه انتهايي [۱۴]كه در مبدل هاي كوچک بكار نمي رود و وظيفه افقي نگه داشتن كل مبدل را بر عهده دارد.



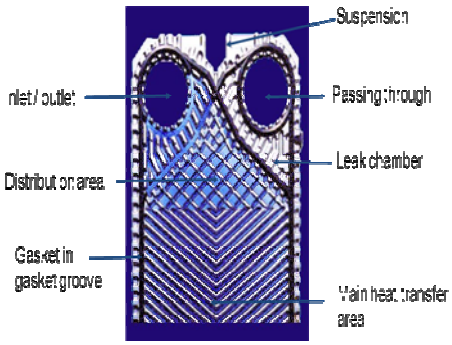
شكل ۲ : اجزا مبدل حرارتي صفحه اي واشردار

به كمک پرس هاي بزرگ هيدروليكي طرح ها و نقش هاي مختلفي بر روي صفحات ايجاد مي شود كه به طور كلي باعث ايجاد استحكام مكانيكي، افزايش تلاطم، كاهش رسوب گرفتگي، افزايش سطح تماس، بازدهي حرارتي بسيار بالا و صرفه جويي در مصرف سوخت، جرم مصرفي كمتر و تنوع در طراحي مي شود. نوع موج دهي در صفحات به دو گروه اصلي نوع جريان آزاد[۱۵] و نوع شورون[۱۶] تقسيم مي شود كه در شكل هاي (۳) و (۴) نشان داده شده است:

۱۰- Carrying bar
۱۱- Guiding bar
۱۲- Tightening bolts
۱۳- Connecting Port
۱۴- Support column
۱۵- Washboard
۱۶- Chevron



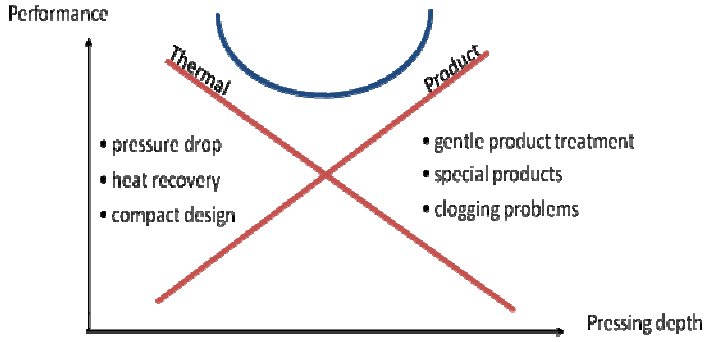
شكل ۳ : صفحات با موج دهي جريان آزاد (واشبرد)



شكل۴ : بخش هاي مختلف صفحه با الگوي شورون

صفحات جريان آزاد براي سيالاتي بكار مي رود كه حاوي ذرات جامد ريز شناور در سيال مي باشند (صنايع قند و آب ميوه)، صفحات نوع شورون از كاربرد بيشتري در صنعت برخوردار هستند و شيارها مي تواند به صورت افقي يا عمودي باشد.

استفاده از مدل شكلات در ناحيه توزيع كه تحت عنوان [۱۷]در شكل (۴) مشخص شده است سبب توزيع يكنواخت تر جريان شده و افت فشار را حداقل مي كند. عمق پرس مبدل حرارتي صفحه اي واشردار بين ۱/۵ تا ۱۱ ميلي متر جهت انجام وظايف مختلف، تغيير مي كند. در شكل (۵) نمودار كارايي بر حسب عمق پرس را مشاهده مي كنيم:



شكل ۵ : نمودار كارايي مبدل حرارتي صفحه اي واشردار بر حسب عمق پرس

جنس صفحات

تمام موادي كه از استحكام كافي برخوردار هستند و قابليت پرسكاري دارند را مي توان در صفحات مبدل استفاده كرد. در جدول (۱) ليست اين مواد، ضخامت و موارد استفاده آورده شده است.

جدول ۱- ليست مواد استاندارد استفاده شده در صفحات مبدل

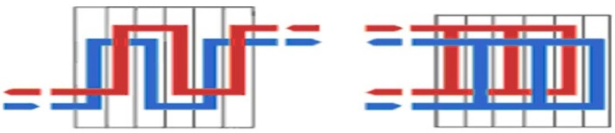
موارد نمونه استفاده	ضخامت	مواد استاندارد استفاده شده
آب به آب تميز	معمولا ۴/. تا ۵/. ميلي متر	AISI 304 (stainless steel)
آب به آب	هميشه ۵/. تا ۶/. ميلي متر كاربردهاي فشار بالا : صفحات ضخيم تر	AISI 316 (stainless steel)
آب به آب با درصد بالاي كلراید	معمولا ۶/. ميلي متر	254 SMO (high-alloy stainless steel)
آب دريا	هميشه ۵/. تا ۶/. ميلي متر كاربردهاي فشار بالا : صفحات ضخيم تر فشار پايين : ضخامت ۴/. ميلي متر	Titanium
اسيد سولفوريک متمركز	معمولا ۶/. ميلي متر	Alloy C-276 (Nickel alloy)

۱۷- Distribution area

قيمت مواد نام برده شده در جدول به ترتيب از بالا به پايين افزايش مي يابد.

آرايش جريان بين صفحات

مبدلهاي حرارتي صفحه اي واشردار از نظر نحوه آرايش جريان بسيار انعطاف پذيرند. به طور كلي مي توان آرايش جريان سيال درون مبدل را براساس چگونگي حركت و جهت به دو دسته تقسيم كرد كه عبارتند از آرايش جريان موازي و آرايش جريان سري كه در شكل (۶) نمايش داده شده است. هر كدام از اين نوع آرايش جريان بسته به جهت جريان سيال مي توانند به صورت همسو (هم جهت) يا ناهمسو (معكوس) در نظر گرفته شوند، نوع متداول جهت جريان در مبدلهاي سري، جريان معكوس است زيرا بازدهي بيشتري از نظر انتقال حرارت دارد.

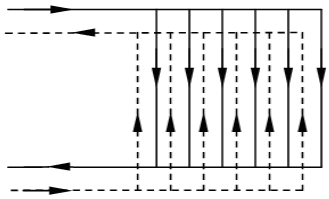


(الف) (ب)

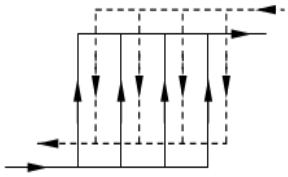
آرايش جريان موازي معكوس آرايش جريان سري معكوس

شكل۶- انواع آرايش جريان سيال در مبدلهاي صفحه اي

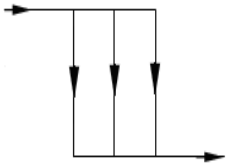
در آرايش موازي جريان به دو صورت از مبدل خارج مي شود . اگر جريان ورودي و خروجي سيالات عبوري از مبدل از روي قاب ثابت باشد، به اين نوع آرايش، آرايش موازي U شكل گويند، ولي اگر نازل هاي ورودي وخروجي جريان دو سيال روي يک قاب نباشد (يكي روي قاب ثابت و ديگري روي قاب متحرک) جريان را جريان موازي Z شكل گويند. اين دو نوع الگوي جريان در شكل (۷) نمايش داده شده است. شكل(۸) يک مبدل حرارتي صفحه اي را با آرايش Z شكل چند گذر و شكل(۹) نيز يک مبدل صفحه اي را با آرايش U شكل يک گذر نشان مي دهد.



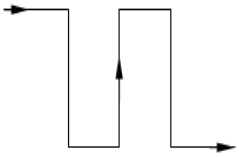
(a) – آرايش U شكل



(b) - آرايش Z شكل



(c) – موازي



(d) - سري

شكل ۷ - الگوي جريان معكوس يک گذر

شکل۸ - آرایش Z شکل چند گذر
(نازلهاي ورودي و خروجي روي دو قاب قرار دارد)

شکل ۹- آرایش U شکل یک گذر
(نازلهاي ورودي و خروجي روي قاب ثابت قرار دارد)

رسوب، ته نشيني و نگهداري مبدل حرارتي صفحه اي

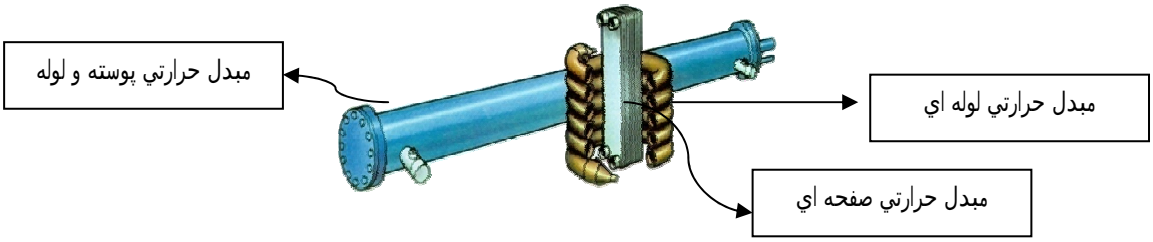
در عمل رسوبات باعث کاهش بازده حرارتي مبدل به واسطه کاهش ضريب انتقال حرارت کلي مي شوند. اين امر باعث افت فشار شديدي در دستگاه شده و انرژي مصرفي پمپ بالا مي رود. درصد تشکيل لايه هاي رسوب به الگوي سطح صفحه بستگي داشته و متأثر از فاکتور هاي مقابل است : شرايط عملکرد دستگاه، نوع سيال، طبيعت و تمرکز آلاينده ها، سرعت جريان سيال در کانال ها، پرداخت و صيقل سطح صفحه، دماي ديواره فلزي و تنش برشي اعمالي بر سيال از طرف صفحه. به واسطه اغتشاش ايجاد شده در مبدل صفحه اي، رسوب در اين مبدل کمتر از ساير انواع مبدل ها مي باشد. تنش برشي در اين صفحات زياد بوده و باعث خودتميزي و کاهش رسوب مي گردد. با اين حال براي دستيابي به ظرفيت نامي و زدودن رسوبات، دستگاه بايد تميز شود. نظافت دستگاه بصورت مکانيکي يا با سيرکوله کردن پر فشار سيال تميزکننده صورت مي گيرد.

مزاياي استفاده از مبدل هاي حرارتي صفحه اي نسبت به مبدل هاي پوسته و لوله

مبدل هاي حرارتي صفحه اي به علت خصوصيات سازه اي منحصر به فرد نسبت به مبدل هاي پوسته و لوله سنتي از مزاياي قابل توجهي برخوردار هستند که در ادامه به آنها اشاره مي کنيم:

۱- جريات سيال در مبدل هاي صفحه اي به علت موج دار بودن صفحات در اعداد رينولدز کم (۱۰ تا ۴۰۰) از حالت آرام به آشفته تبديل مي شود و با توجه به قطر هيدروليکي کوچک، ضرايب انتقال حرارت در آنها افزايش يافته و لذا اين نوع از مبدل ها از راندمان بالايي برخوردار مي باشند، همچنين امکان افزايش ضريب انتقال حرارت در هر دو طرف صفحه وجود دارد و اين در حالي است که در مبدل هاي پوسته و لوله غالبا به سختي مي توان ضريب انتقال حرارت زيادي در طرف پوسته بدست آورد.

۲- مبدل هاي صفحه اي سبب صرفه جويي تا حدود ۸۰% در فضاي نصب مي شوند که دليل آن فشرده و کوچک بودن اين نوع از مبدل ها مي باشد؛ به عنوان مثال به ازاي سطح مؤثر حرارتي يکسان، وزن و حجم مبدل هاي صفحه اي به ترتيب ۳۰% و ۲۰% وزن و حجم مبدل هاي پوسته و لوله است. در شکل (۱۰) به روشني اين تفاوت اندازه را ملاحظه مي کنيم.



شکل۱۰- مقايسه سايز انواع متفاوت مبدل هاي حرارتي

۳- صفحات نازک، مقاومت ديواره فلزي را به حداقل کاهش داده به طوري که مبدل هاي صفحه اي تا حدود ۸۲% از مقدار اختلاف دماي لگاريتمي (LMTD) را تامين مي کنند؛ در حالي که مبدل هاي پوسته و لوله فقط توانايي بکارگيري ۵۰% از آن را دارند. بنابراين به کمک اين نوع از مبدل ها با اختلاف بسيار کم دماهاي خروجي سيال سرد و گرم، بازيابي گرما تا بيش از ۹۰% امکان پذير است و مصرف انرژي به ميزان قابل توجهي کاهش مي يابد.

۴- با توجه به نوع طراحي واشر در اين نوع از مبدل ها، خطر نشتي به داخل حداقل بوده و مخلوط شدن دو سيال رخ نمي دهد؛ هر گونه خرابي واشر منجر به نشتي به محيط مي شود که به سادگي در سطح خارجي مبدل، قابل رديابي است.

۵- مبدل هاي صفحه اي در مقايسه با لوله اي معادل، مساحت کمي براي اتلاف حرارت دارند؛ تنها لبه هاي صفحات در تماس با محيط خارج مي باشند و از سوي ديگر ارقام داده شده نشان مي دهد که افت حرارتي حاصل از تابش در مبدل هاي صفحه اي در حدود ۲۰% مبدل هاي لوله اي است.

۶- برخلاف مبدل هاي لوله اي، مبدل هاي صفحه اي از انعطاف پذيري بالايي در طراحي برخوردار هستند که به واسطه تنوع در اندازه صفحات، نوع مواد، آرايش گذرها و تعداد صفحات بوجود مي آيد.

۷- با مکانيزم خاصي (صفحات اتصال دهنده)، مي توان بيش از دو سيال را در يک مبدل حرارتي صفحه اي خاص استفاده نمود.

۸- در مبدل هاي صفحه اي واشردار با برداشتن فشار وارده بر صفحات به آساني مي توان آنها را از هم جدا کرده و تميز نمود.

نتيجه گيري

در اين مقاله پس از شناخت کامل مبدل هاي حرارتي صفحه اي، انواع متفاوت اين نوع از مبدل ها و قطعات سازنده، عملکرد مناسب مبدل هاي حرارتي صفحه اي در جهت کاهش مصرف انرژي بررسي شد. با انجام مقايسه اي بين خصوصيات مبدل هاي حرارتي صفحه اي و مبدل هاي پوسته و لوله سنتي، مشخص شد که اين نوع از مبدل ها قادر به بازيابي ۹۰% گرما مي باشند، اين در حالي است که مبدل هاي حرارتي صفحه اي حدود ۸۰% فضاي کمتري نسبت به مبدل هاي پوسته و لوله اشغال مي کنند. با توجه به مطالب مذکور استفاده از مبدل هاي حرارتي صفحه اي سبب صرفه جويي قابل توجهي در مصرف سوخت و هزينه خواهد شد.

مراجع

[1]- Mgnusson, B. and Samuelson, B.,"The story of the Alpha Laval Plate Heat Exchanger and the Spiral Heat Exchanger", Norstedts Tryckeri, Stockholm, 1985.

[2]- Clark, D.F., "Plate Heat Exchangers", The chemical engineering, No. 285, pp. 275-285, May 1974.

[3]- Magnusson, B., "The Origins and Evolution of the Alpha Laval Plate Heat Exchanger", Norstedts Tryckeri, Stockholm, 1985.

[4]- Marriot, J., "Performance of an Alphaflex Plate Heat Exchanger", Chemical engineering progress, Vol. 73, No. 2, pp. 73-78, 1977.

[5]- Moon, M.G., "Invention Paves Way for Third Generation Heat Exchangers", Australian Refrigeration, Air conditioning and Heating, Vol. 43, No. 9, pp. 21-25, 1989.

[6]- Alpha Laval, Heat Exchanger Guide, Lund, Sweden, 1980.