



VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Análisis de componentes

Para poder determinar los componentes de una formulación eficiente, barata y libre de fosfatos, se realizó el análisis de la composición de algunas mezclas de LAS (Lauril Alquil Sulfato) y diversos aditivos ablandadores propuestas por *The PQ Corporation, Industrial Chemicals Division* (www.pq.com/literature/bulletin_41-26.pdf).

En la siguiente tabla se pueden observar los porcentajes de los diversos componentes en las diferentes mezclas. Dos de las mezclas (tercera y cuarta columna) son detergentes con cierta composición de fosfatos, aunque esta sea mucho menor que la de los detergentes comunes. Los demás detergentes si tienen una composición libre de tripolifosfato de sodio, ya que sustituyen este aditivo ablandador por sustancias como Zeolita A, metasilicato de sodio, silicato de sodio, sulfato de sodio y carbonato de sodio, en diferentes porcentajes.

TABLA VII.- Composición de algunos detergentes libres o bajos en fosfatos

	Det. líq. 1	Det. líq. 2	Det. seco mezclado bajo en fósforo Económico	Det. seco mezclado bajo en fósforo Premium	Det. seco mezclado Económico	Det. Económico	Det. Premium
Zeolita A	20%	14%	20%	27%	30.0%	25.0%	30.0%
Carbonato de sodio	28%	20%	25%	10%	15.0%	25.0%	15.0%
Silicato de Sodio	-----	-----	7%	10%	-----	7.0%	10%
Polisilicato Acuoso	-----	-----	-----	-----	7.0%	-----	-----
Poliacrilato de sodio	2%	-----	-----	-----	1.0%	0.5%	0.5%
Nonilfenol, 9-10 moles EO	8%	14%	-----	6%	-----	-----	-----
LAS (surfactante)	5%	-----	7%	12%	10.0%	5.0%	10%



Metasilicato de Sodio	36%	30%	-----	-----	-----	-----	-----
CMC	2%	1%	-----	1%	1.0%	-----	1.0%
Sulfato de Sodio	-----	20%	36%	29%	31.5%	35.5%	22.5%
Polivinilpirrolidona	-----	1%	-----	-----	-----	-----	-----
Alcohol lineal C12-C15, 7 moles EO	-----	-----	-----	-----	4.0%	2.0%	11%
TPFS	-----	-----	5%	5%	-----	-----	-----
Abrillantador Óptico	-----	-----	-----	-----	0.5%	-----	-----
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Como puede observarse, existen otros aditivos que son utilizados también (además de los mencionados en el párrafo anterior), aunque su composición es mucho menor. Muchas veces estos aditivos son polímeros ablandadores ó antidepositantes de alta eficiencia. Por esta razón, y por su alto costo, vienen incluidos en cantidades muy pequeñas. Esta última es la principal razón (costo) por la que se ha decidido realizar el presente estudio prescindiendo de muchas de las sustancias propuestas por *The PQ Corporation, Industrial Chemicals Division*. Un ejemplo de esto es la Zeolita A, que aunque no es un polímero o aditivo secundario, sino un componente primario en muchos detergentes; no es un material de alta disponibilidad en México. Esto hace que su costo se vea muy incrementado, debido a los gastos de importación.

Observando entonces la tabla anterior, tenemos que los componentes suavizadores de interés tienen un cierto número de apariciones en los siete detergentes de referencia, así como un intervalo de porcentajes de empleo en la formulación del detergente. Este intervalo de porcentajes puede ser ajustado al no considerar los componentes minoritarios de cada fórmula, para tener así una mezcla mucho más sencilla y barata, considerando sólo los componentes que tienen una función de mayor peso. Esto se resume en la tabla VIII.

**TABLA VIII.- Porcentajes de composición originales y ajustados de los detergentes tomados como referencia.**

Aditivo ablandador	Apariciones	% en la composición	% Ajustado
Zeolita A	7/7	(14-30%)	(17-35%)
Metasilicato de Sodio	2/7	(30-36%)	(36-41%)
Silicato de Sodio	4/7	(7-10%)	(7.2-11.4%)
Sulfato de Sodio	6/7	(20-36%)	(23.2-38%)
Carbonato de Sodio	7/7	(10-28%)	(11.4%-34.2%)

Tomando como guía estos porcentajes de composición de los detergentes que se tomaron como referencia, se buscó una mezcla que cumpliera con los requerimientos de limpieza en las latas, variando factores clave en el proceso de lavado.

La primera propuesta en cuanto a la composición del detergente se muestra a continuación.

TABLA IX.-Propuesta piloto de detergente.

Surfactante (g.)	Metasilicato de Sodio (g.)	Silicato de Sodio (g.)	Carbonato de Sodio (g.)	Sulfato de Sodio (g.)	TPFS (g.)
8.175	17.43	4.455	10.445	4.95	2.421

Las proporciones en esta propuesta fueron:

- Surfactante 17.1%
- Metasilicato de Sodio 36.4%
- Silicato de Sodio 9.3%
- Carbonato de Sodio 21.8%



- Sulfato de Sodio	10.3%
- Tripolifosfato de Sodio	5.1%

La decisión del porcentaje que cada componente guarda en el detergente no fue de tanta relevancia en este nivel, ya que el único fin de esta propuesta era ser utilizada en las pruebas preeliminares, donde se buscaría una idea más clara de la concentración ideal de surfactante, el tiempo de lavado y las revoluciones por minuto a las que giraría la lata.

Por otro lado, es importante mencionar que en las pruebas preeliminares se utilizó el sulfato de sodio como agente ablandador del medio, junto con el TPF, silicato, metasilicato y carbonato de sodio. Al inicio se buscaba hacer mínima su concentración en el medio para evitar problemas de formación de ácido sulfhídrico en el tratamiento anaerobio de aguas; sin embargo, por esta misma razón, se decidió eliminar por completo durante el diseño de experimentos final. La eliminación del sulfato de sodio se decidió confiando en que una buena proporción surfactante:suavizadores, así como ciertas condiciones favorables del medio, pudieran equilibrar la falta de esta “builder”, el cuál tiene un nivel de eficacia comprobado.

6.2 Determinación del intervalo base de concentraciones de surfactante

Como ya se había mencionado en los objetivos de este trabajo, se buscó encontrar un intervalo de concentraciones mínimas de surfactante en el medio de lavado tal que el proceso detergente sea razonablemente eficiente, pero al mismo tiempo, no cause problemas en el tratamiento aerobio de aguas por exceso de espuma. Para lograr esto, se decidió llevar a cabo varias series de pruebas exploratorias previas al diseño de experimentos, que posteriormente sería realizado con ayuda de DESIGN EXPERT. Para realizar estas series de experimentos de exploración, se tomó referencia la concentración de surfactante encontrada como la óptima en el estudio de eficiencia de detergentes de Martínez (2003).



En el trabajo de Martínez (2003), se realizaron una serie de 20 experimentos codificados, propuestos por DESIGN EXPERT, donde las tres variables involucradas fueron: la dureza del agua de lavado en un intervalo de 0 a 500 ppm. de CaCO_3 , la concentración de surfactante en un intervalo de 0.65 a 13.04 g/L y la temperatura del medio de lavado que iba desde 30 hasta 90 °C. El sistema detergente óptimo según este estudio, viene dado por un detergente cuya concentración de surfactante es de 6.194 g/L, entre otros factores. A partir de este punto de referencia, se buscaría el intervalo de cantidades de surfactante por litro, que dieran los mejores resultados en cuanto a limpieza de la lata, pero que por otro lado implicaran un bajo el impacto al medio. De esta forma, se inició la búsqueda del óptimo de concentración de detergente en este estudio, donde además de utilizar TPFS como agente ablandador, también se empleó carbonato de sodio, metasilicato de sodio y silicato de sodio.

En la primera serie de experimentos preeliminares, que buscaron el intervalo de concentraciones base, se acompañó al surfactante por una proporción fija de aditivos ablandadores (descrita en la sección anterior), haciendo que las cantidades de estos cambiaran proporcionalmente a la cantidad de surfactante, entre diferentes series de experimentos. Así los porcentajes de cada componente se mantuvieron constantes en la fórmula, ya que variarlos no era aún el objetivo.

Sabiendo que una concentración de 6.194 g/L de surfactante, acompañado de hasta 3.68 g/L de TPFS¹, podría alcanzar una eficiencia de lavado de hasta 98.94 %, se realizó una serie de repeticiones donde la concentración fue de 5.81 g/L. La razón para pensar que se podrían encontrar buenos resultados, a una concentración de 5.81 g/L. de surfactante, fue que en este caso, la cantidad de aditivos en el medio de lavado era mayor en relación al estudio donde 6.194 g/L fue la concentración ideal de surfactante.

¹ Se dice “hasta de 3.68 g/L” debido a que en aquel estudio se tenía la cantidad de agente ablandador (sólo TPFS para ese caso) en función de la dureza. La dureza más alta que se estudió fue de 500 ppm., caso en el cuál se utilizaban 3.68 g/L. Esto es lo mismo que añadir al medio 4 moléculas de TPFS por cada 5 moléculas de dureza, considerada como CaCO_3 .



De hecho, se puede decir que la relación surfactante:aditivos ablandadores fue aproximadamente 1:6, mientras que la del estudio anterior, en el mejor de los casos, fue de 1:1.4.

En la tabla X, se reportan los resultados obtenidos al manejar una concentración de 5.81 g/L. De esta forma, al tener un medio de lavado de 1.5 L, se tuvo una cantidad de 8.175 g. en el medio, con los porcentajes mencionados en la sección anterior para cada aditivo. Así, al poner una cantidad relativamente grande de aditivos, se promovió el mejor desempeño del surfactante empleado, teniendo una eficiencia de lavado del 96.84 % sin necesidad de que la cantidad de este fuera mayor. Además de esto, se puede observar cierta reproducibilidad en los resultados obtenidos en los seis experimentos realizados a las mismas condiciones, ya que los resultados son muy similares.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA X. - Primera serie de pruebas realizadas a una concentración de surfactante de 5.45 g/L, dureza de 250 ppm., 60 °C, y en un tiempo de 30 minutos por prueba.

No. de Prueba	Surfac. (gr.)	Na ₂ SiO ₃ (gr.)	Na ₂ Si ₃ O ₇ (gr.)	Na ₂ CO ₃ (gr.)	Na ₂ SO ₄ (gr.)	TPF. (gr.)	Agita Rpm.	Lata limpia (gr.)	Grasa colocada (gr.)	Lata sucia (gr.)	Lata lavada (gr.)	Grasa retirada (gr.)	% de grasa removida
1	8.715	17.43	4.455	10.445	4.95	2.421	100	38.0331	0.1039	38.1370	38.036	0.1010	97.2089
2	8.715	17.43	4.455	10.445	4.95	2.421	100	37.6535	0.1039	37.7574	37.6567	0.1007	96.9201
3	8.715	17.43	4.455	10.445	4.95	2.421	100	37.7500	0.1039	37.8539	37.7551	0.0988	95.0914
4	8.715	17.43	4.455	10.445	4.95	2.421	100	37.8564	0.1039	37.9603	37.8602	0.1001	96.3426
5	8.715	17.43	4.455	10.445	4.95	2.421	100	37.6247	0.1039	37.7286	37.6275	0.1011	97.3051
6	8.715	17.43	4.455	10.445	4.95	2.421	100	37.3369	0.1039	37.4408	37.3388	0.1020	98.1713
Promedio de % de grasa removida													96.8399

TABLA XI- Segunda serie de pruebas realizadas a una a una concentración de surfactante de 4.3575 g/L, dureza de 250 ppm., 60 °C, y en un tiempo de 30 minutos por prueba.

No. de Prueba	Surfac. (gr.)	Na ₂ SiO ₃ (gr.)	Na ₂ Si ₃ O ₇ (gr.)	Na ₂ CO ₃ (gr.)	Na ₂ SO ₄ (gr.)	TPF. (gr.)	Agita Rpm.	Lata limpia (gr.)	Grasa colocada (gr.)	Lata sucia (gr.)	Lata lavada (gr.)	Grasa retirada (gr.)	% de grasa removida
7	6.5363	13.0725	3.3413	7.8338	3.7125	1.8158	100	37.5745	0.1039	37.6784	37.5855	0.0929	89.4129
8	6.5363	13.0725	3.3413	7.8338	3.7125	1.8158	100	37.4624	0.1039	37.5663	37.4748	0.0915	88.0654
9	6.5363	13.0725	3.3413	7.8338	3.7125	1.8158	100	37.3883	0.1039	37.4922	37.4001	0.0921	88.6429
10	6.5363	13.0725	3.3413	7.8338	3.7125	1.8158	100	37.3084	0.1039	37.4123	37.3213	0.0910	87.5842
11	6.5363	13.0725	3.3413	7.8338	3.7125	1.8158	100	37.7472	0.1039	37.8511	37.7581	0.0930	89.5091
Promedio de % de grasa removida													88.6429



Habiendo encontrado esto, se siguió disminuyendo la cantidad de surfactante, (manteniendo constante la proporción de los aditivos), para ver hasta donde podría disminuirse la concentración del detergente. En la tabla XI se muestran los resultados de la siguiente serie de repeticiones, donde la cantidad de surfactante fue de 6.5363 g.(4.3575 g/L), que es el 75% de los 8.715 g (5.81 g/L) utilizados inicialmente.

Como se puede ver, después de haber disminuido 2.2 gramos de surfactante con respecto a la primera serie de pruebas, se puede observar una disminución de aproximadamente 8.3 puntos porcentuales en cuanto a la grasa removida, lo que es ya una fuerte disminución. Sin embargo, al considerar que estas pruebas experimentales se llevaron a cabo con cierta proporción de surfactante:aditivo ablandador, la cuál podría ser mejorada en alguno o varios casos del diseño de experimentos, se decidió continuar disminuyendo la cantidad de surfactante. Además de esto, una de las condiciones desfavorables de estas series de pruebas preeliminares es la dureza de 250 ppm. en el medio de lavado. De esta manera, al tener una condición más favorable de dureza y también de temperatura, probablemente el porcentaje de grasa removida sería considerablemente mayor al del promedio de 88.53%. Por estas razones, y por seguir observando el efecto de la disminución de surfactante en el medio de lavado, se prosiguió con la disminución de la cantidad de surfactante.

Los resultados de la siguiente serie de pruebas, en la búsqueda de la concentración de detergente en el medio de lavado, se muestran en la tabla XII. Estas pruebas se realizaron con el 50% de la cantidad utilizada en la primera serie de pruebas, es decir 4.3575 gramos de surfactante (2.905 g/L).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA XII.- Tercera serie de pruebas realizadas a una concentración de 2.905 g/L, dureza de 250 ppm., 60 °C, y en un tiempo de 30 minutos por prueba.

No. de Prueba	Surfac. (gr.)	Na ₂ SiO ₃ (gr.)	Na ₂ Si ₃ O ₇ (gr.)	Na ₂ CO ₃ (gr.)	Na ₂ SO ₄ (gr.)	TPF. (gr.)	Agita Rpm.	Lata limpia (gr.)	Grasa colocada (gr.)	Lata sucia (gr.)	Lata lavada (gr.)	Grasa retirada (gr.)	% de grasa removida
12	4.3575	8.715	2.2275	5.2225	2.475	1.2105	100	38.0255	0.1039	38.1294	38.0380	0.0914	87.9692
13	4.3575	8.715	2.2275	5.2225	2.475	1.2105	100	37.8160	0.1039	37.9199	37.8267	.0932	89.7016
14	4.3575	8.715	2.2275	5.2225	2.475	1.2105	100	38.0329	0.1039	38.1368	38.0448	.092	88.5467
15	4.3575	8.715	2.2275	5.2225	2.475	1.2105	100	37.4378	0.1039	37.5417	37.4506	.0911	87.6804
16	4.3575	8.715	2.2275	5.2225	2.475	1.2105	100	38.1651	0.1039	38.269	38.1778	.0912	87.7767
17	4.3575	8.715	2.2275	5.2225	2.475	1.2105	100	37.9909	0.1039	38.0948	38.0016	.0932	89.7016
Promedio de % de grasa removida													88.5627

TABLA XIII.- Cuarta serie de pruebas realizadas a una concentración de 1.453 g/L, dureza de 250 ppm., 60 °C, y en un tiempo de 30 minutos por prueba.

No. de Prueba	Surfac. (gr.)	Na ₂ SiO ₃ (gr.)	Na ₂ Si ₃ O ₇ (gr.)	Na ₂ CO ₃ (gr.)	Na ₂ SO ₄ (gr.)	TPF. (gr.)	Agita Rpm.	Lata limpia (gr.)	Grasa colocada (gr.)	Lata sucia (gr.)	Lata lavada (gr.)	Grasa retirada (gr.)	% de grasa removida
18	2.179	4.357	1.1138	2.6113	1.238	0.605	100	38.0968	0.1039	38.2007	38.1098	0.0909	87.4880
19	2.179	4.357	1.1138	2.6113	1.238	0.605	100	38.0257	0.1039	38.1296	38.0394	0.0902	86.8142
20	2.179	4.357	1.1138	2.6113	1.238	0.605	100	37.7065	0.1039	37.8104	37.7189	0.0915	88.0654
21	2.179	4.357	1.1138	2.6113	1.238	0.605	100	37.6415	0.1039	37.7454	37.6553	0.0901	86.7180
22	2.179	4.357	1.1138	2.6113	1.238	0.605	100	37.5580	0.1039	37.6619	37.5719	0.0900	86.6218
23	2.179	4.357	1.1138	2.6113	1.238	0.605	100	37.6061	0.1039	37.71	37.6187	0.0913	87.8730
Promedio de % de grasa removida													87.2634



Como puede observarse en la tabla XII, al disminuir 2.2 gramos de surfactante en el medio de lavado, con respecto a la serie de pruebas anterior, el porcentaje de grasa removida se mantiene prácticamente constante. Esto nos muestra un área importante de oportunidad, ya que desde 4.3575 hasta 6.5363 gramos de surfactante (2.905 g/L hasta 4.3575 g/L) en el medio, no parece haber una diferencia sustancial en el lavado de la lata, lo que nos permitiría hacer un uso eficiente del detergente al utilizar el valor más bajo. Buscando ver hasta donde se podría extender este comportamiento, se realizó la siguiente serie de experimentos con 2.179 gramos de surfactante en el medio (1.453 g/L).

Según los resultados que podemos ver en la tabla XIII, al disminuir de 2.905 g/L a 1.453 g/L (de a 4.3575 a 2.179 de gramos de surfactante en el medio de lavado) se redujo la eficiencia de lavado de un aproximado de 88.56% a 87.26%, es decir 1.3 puntos porcentuales. A pesar de que se dio una caída mayor del porcentaje de grasa removida en esta reducción de la cantidad de detergente en el medio, se consideró de interés seguir reduciendo la concentración, buscando el punto donde la reducción de la eficiencia de lavado ya no se justifique en pro de la minimización del impacto al medio ambiente. La tabla XIV muestra la serie de pruebas con el 10% de la cantidad de surfactante probado en los primeros experimentos, es decir, 0.581 g/L.

Esta serie de pruebas, como se puede ver en la tabla XIV, nos da un aproximado de 86.7% de eficiencia. Esto quiere decir que se perdieron 0.6 puntos porcentuales al disminuir de 1.453 a 0.581 g/L. Hasta el momento, desde la segunda serie de pruebas la eficiencia de lavado ha disminuido lentamente mientras se reduce de forma más significativa la concentración de surfactante en el medio de lavado. Debido a esto, se realizó una nueva serie de experimentos para determinar la eficiencia de lavado a la concentración de 0.4358 g/L, que representa el 7.5% de la concentración utilizada al inicio de la experimentación.



En esta serie de experimentos, como se puede apreciar en la tabla XV , hubo una disminución de más de 6 puntos porcentuales al disminuir la concentración de surfactante de 0.581 g/L a 0.4358 g/L, lo que ya se podría considerar una caída más drástica de la eficiencia de lavado en relación a las últimas cuatro series de experimentos. Esta idea se refuerza si observamos que, de forma global, desde la segunda serie de pruebas hasta la anterior a esta, se redujeron aproximadamente 3 g/L de surfactante, disminuyendo la eficiencia de lavado en casi 2 %; mientras que la última reducción de detergente fue de 0.1452 g/L y la disminución de la eficiencia de lavado, como ya se mencionó, fue del 6%.

Para observar de forma más clara los datos obtenidos durante los 35 experimentos realizados hasta este punto de la investigación, se muestra la siguiente gráfica:

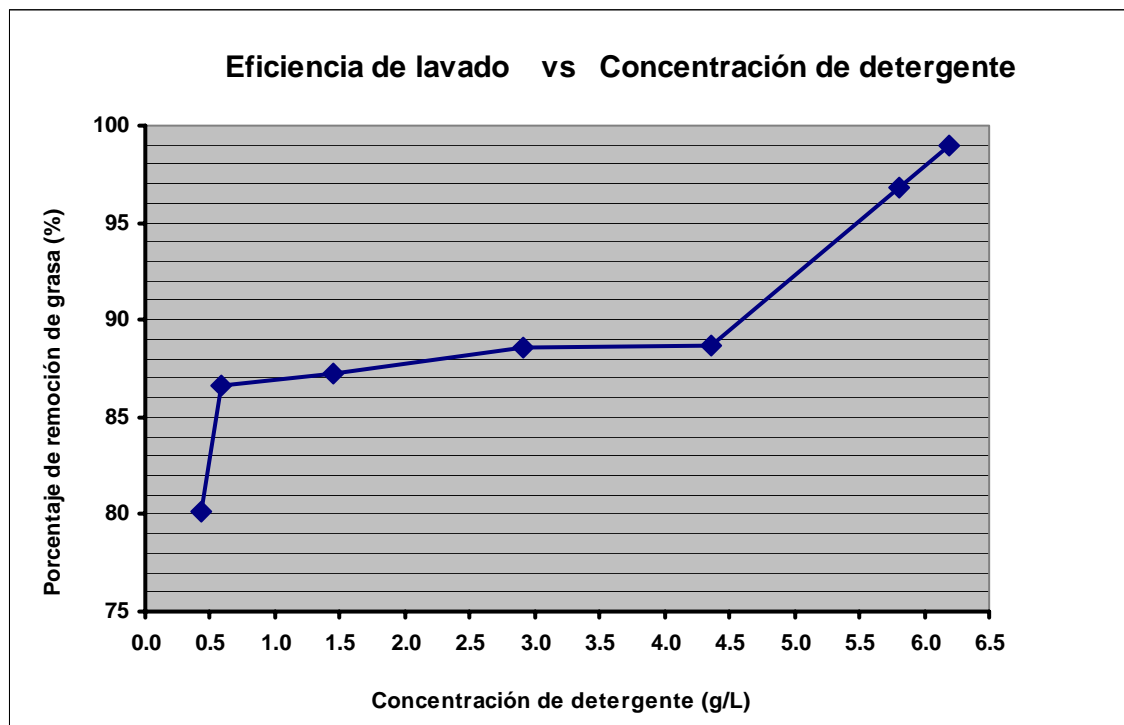


Figura 3.- Eficiencia de lavado vs. Concentración de detergente. Se puede observar un porcentaje de remoción de grasa relativamente constante en la parte central.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA XIV.- Quinta serie de pruebas realizadas a una concentración de 0.581 g/L, dureza de 250 ppm., 60 °C, y en un tiempo de 30 minutos por prueba.

No. de Prueba	Surfac. (gr.)	Na ₂ SiO ₃ (gr.)	Na ₂ Si ₃ O ₇ (gr.)	Na ₂ CO ₃ (gr.)	Na ₂ SO ₄ (gr.)	TPF. (gr.)	Agita Rpm.	Lata limpia (gr.)	Grasa colocada (gr.)	Lata sucia (gr.)	Lata lavada (gr.)	Grasa retirada (gr.)	% de grasa removida
24	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	45.2523	0.1039	45.3562	45.2668	0.0894	86.0442
25	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	45.2502	0.1039	45.3541	45.2631	0.0910	87.5842
26	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	44.8372	0.1039	44.9411	44.8506	0.0905	87.1030
27	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	45.3315	0.1039	45.4354	45.3457	0.0897	86.3330
28	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	45.0953	0.1039	45.1992	45.1093	0.0899	86.5255
29	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	44.8986	0.1039	45.0025	44.9127	0.0898	86.4293
Promedio de % de grasa removida													86.6699

TABLA XV.- Sexta serie de pruebas realizadas a una concentración de 0.4358 g/L, dureza de 250 ppm., 60 °C, y en un tiempo de 30 minutos por prueba.

No. de Prueba	Surfac. (gr.)	Na ₂ SiO ₃ (gr.)	Na ₂ Si ₃ O ₇ (gr.)	Na ₂ CO ₃ (gr.)	Na ₂ SO ₄ (gr.)	TPF. (gr.)	Agita Rpm.	Lata limpia (gr.)	Grasa colocada (gr.)	Lata sucia (gr.)	Lata lavada (gr.)	Grasa retirada (gr.)	% de grasa removida
30	0.6536	1.3073	0.3341	0.7834	0.3713	0.1816	100	45.2345	0.1039	45.3384	45.2553	0.0831	79.9808
31	0.6536	1.3073	0.3341	0.7834	0.3713	0.1816	100	45.2123	0.1039	45.3162	45.2337	0.0825	79.4033
32	0.6536	1.3073	0.3341	0.7834	0.3713	0.1816	100	44.8675	0.1039	44.9714	44.8877	0.0837	80.5582
33	0.6536	1.3073	0.3341	0.7834	0.3713	0.1816	100	45.7341	0.1039	45.838	45.7545	0.0835	80.3657
34	0.6536	1.3073	0.3341	0.7834	0.3713	0.1816	100	45.0967	0.1039	45.2006	45.1166	0.0840	80.8470
35	0.6536	1.3073	0.3341	0.7834	0.3713	0.1816	100	44.4387	0.1039	44.5426	44.4595	0.0831	79.9808
Promedio de % de grasa removida													80.1893



Como se puede ver en el figura 3, entre los 0.6 y 4.5 g/L de concentración del detergente se tienen tres pendientes suaves donde el porcentaje de remoción de grasa aumenta sólo 2 %. Esto significa que la efectividad del detergente no varía mucho en un intervalo de aproximadamente 3 g/L, por lo que el resultado de utilizar cualquier concentración comprendida en ese intervalo es prácticamente el mismo.

Al buscar optimizar el uso del detergente en el lavado de las latas, lo que se puede concluir de esta búsqueda de un intervalo base de concentración, es que se debe trabajar en el extremo izquierdo del intervalo ya comentado (es decir, a partir de 0.5 g/L), buscando ahora la composición ideal del detergente. Las prioridades en esta nueva búsqueda son dar preferencia a los componentes que propicien un mejor aspecto a la lata (según las observaciones por cada caso) y minimizar la presencia de TPFS.

Antes de iniciar la búsqueda de la composición óptima del detergente a proponer, se fijaron algunos factores como el tiempo de lavado y las revoluciones por minuto a las que giraría la lata durante el proceso.

6.3 Determinación de la velocidad rotacional de la lata durante el lavado

Para determinar las revoluciones por minuto a las que tendría que girar la lata durante el proceso de lavado, se hicieron pruebas en tres velocidades diferentes. La velocidad a la que gira la lata es un factor que se ve estrechamente relacionado con el esfuerzo de corte, la fuerza mecánica que combinada con la acción del detergente, retira la suciedad del sustrato.

Las pruebas fueron realizadas a 50, 100 y 200 rpm. Como era de suponerse, la velocidad más alta favorece el lavado removiendo 1.7 % más grasa que la velocidad intermedia (tabla XVI). Por esta razón se decidió realizar las siguientes pruebas a 200 rpm, sugiriendo que al llevar la solución a escala real, se cuente con un sistema que tenga un esfuerzo de corte considerable. Esto siempre será recomendable cuando se trate



de sacarle el máximo provecho a la cantidad de detergente que se esté empleando, es decir, cuando se esté tratando de optimizar su uso.

6.4 Determinación del tiempo de lavado

Después de determinar las revoluciones por minuto a las cuáles giraría la lata durante el lavado, se realizaron varias pruebas para determinar el tiempo del proceso. Para realizar estos experimentos, se fijaron todos los factores involucrados, variando sólo el tiempo entre 2 y 30 minutos, para ver el efecto que tendría este en el lavado de la lata.

Como se puede ver en la tabla XVII, al variar el tiempo de lavado se tienen prácticamente los mismos resultados a 30 minutos que a sólo 10. Esto significa que en los 20 minutos de diferencia la lata ya no es lavada, pues el detergente ya ha actuado. Sin embargo, esto no se observa en los lavados realizados en 2 minutos. En estos lavados la eficiencia del proceso es menor, por lo que se concluye que ese tiempo de lavado no es suficiente. Debido a estos resultados, se decidió realizar los siguientes lavados en un lapso de 10 minutos por caso.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

TABLA XVI. - Serie de pruebas realizadas a diferentes velocidades de lavado: 50, 100 y 200 rpm.

No. de Prueba	Surfac. (gr.)	Na ₂ SiO ₃ (gr.)	Na ₂ Si ₃ O ₇ (gr.)	Na ₂ CO ₃ (gr.)	Na ₂ SO ₄ (gr.)	TPF. (gr.)	Agita Rpm.	Tiempo (min.)	Temp. (°C)	Lata limpia (gr.)	Grasa colocada (gr.)	Lata sucia (gr.)	Lata lavada (gr.)	Grasa retirada (gr.)	% de grasa removida
36	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	50	30	60	45.1973	0.1039	45.3012	45.2116	0.0896	86.2368
37	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	50	30	60	45.2678	0.1039	45.3717	45.2826	0.0891	85.7555
38	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	50	30	60	44.4523	0.1039	44.5562	44.4674	0.0888	85.4668
Promedio de % de grasa removida															85.8197
24	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	30	60	45.2523	0.1039	45.3562	45.2668	0.0894	86.0442
25	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	30	60	45.2502	0.1039	45.3541	45.2631	0.0910	87.5842
26	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	30	60	44.8372	0.1039	44.9411	44.8506	0.0905	87.1030
27	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	30	60	45.3315	0.1039	45.4354	45.3457	0.0897	86.3330
28	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	30	60	45.0953	0.1039	45.1992	45.1093	0.0899	86.5255
29	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	100	30	60	44.8986	0.1039	45.0025	44.9127	0.0898	86.4293
Promedio de % de grasa removida															86.6699
39	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	30	60	45.3432	0.1039	45.4471	45.3551	0.0920	88.5467
40	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	30	60	45.2123	0.1039	45.3162	45.2249	0.0913	87.8730
41	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	30	60	44.3458	0.1039	44.4497	44.3574	0.0923	88.8354
Promedio de % de grasa removida															88.4184

TABLA XVII. - Serie de pruebas realizadas a diferentes tiempos de lavado: 2, 10 y 30 minutos.

No. de Prueba	Surfac. (gr.)	Na ₂ SiO ₃ (gr.)	Na ₂ Si ₃ O ₇ (gr.)	Na ₂ CO ₃ (gr.)	Na ₂ SO ₄ (gr.)	TPF. (gr.)	Agita Rpm.	Tiempo (min.)	Temp. (°C)	Lata limpia (gr.)	Grasa colocada (gr.)	Lata sucia (gr.)	Lata lavada (gr.)	Grasa retirada (gr.)	% de grasa removida
39	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	30	60	45.3432	0.1039	45.4471	45.3551	0.0920	88.5467
40	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	30	60	45.2123	0.1039	45.3162	45.2249	0.0913	87.8730
41	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	30	60	44.3458	0.1039	44.4497	44.3574	0.0923	88.8354
Promedio de % de grasa removida															88.4184
42	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	10	60	44.3245	0.1039	44.4284	44.336	0.0924	88.9317
43	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	10	60	45.6472	0.1039	45.7511	45.6602	0.0909	87.4880
44	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	10	60	45.1361	0.1039	45.24	45.1482	0.0918	88.3542
Promedio de % de grasa removida															88.2579
45	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	2	60	44.6128	0.1039	44.7167	44.6315	0.0852	82.0019
46	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	2	60	45.5213	0.1039	45.6252	45.5409	0.0843	81.1357
47	0.8715	1.743	0.4455	1.0445	0.495	0.2421	200	2	60	45.8437	0.1039	45.9476	45.8612	0.0864	83.1569
Promedio de % de grasa removida															82.0982

6.5 Determinación de la composición del detergente

Después de haber mostrado los resultados relativos al intervalo de concentración del detergente, así como la velocidad de la lata y el tiempo de lavado, se presentan los resultados de los experimentos derivados del diseño propuesto por DESIGN EXPERT. Con estos experimentos se determinó la composición ideal del detergente a utilizar, así como las condiciones óptimas del sistema detergente para el lavado de las latas.

La matriz de experimentos propuesta por DESIGN EXPERT, decodificada en porcentajes, se muestra a continuación. La información de apoyo para realizar esta codificación no se tomó de una sola fuente. El intervalo de porcentajes de composición de las diferentes sustancias, como se comentó al inicio de este capítulo, se apoyó en el análisis de la composición de algunas mezclas de LAS y diversos aditivos ablandadores propuestas por *The PQ Corporation, Industrial Chemicals Division* (www.pq.com/literature/bulletin_41-26.pdf), que se pueden ver en la tabla VII.

Tabla XVIII.- Matriz decodificada de experimentos en base a porcentajes de composición.

#	Temp.	Dureza	% Surf.	% Metasilicato	% TPFS	%Carbonato	%Silicato	%Total
1	70.6	50	9.8	41.2	0.0	23.1	25.8	100
2	70.6	50	16.2	41.2	5.0	17.8	19.8	100
3	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
4	49.4	50	9.8	44.8	5.0	19.1	21.3	100
5	70.6	250	16.2	41.2	0.0	20.1	22.5	100
6	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
7	70.6	50	9.8	44.8	0.0	35.3	10.1	100
8	60	150	13.0	48.0	2.5	20.9	15.6	100
9	60	150	4.0	43.0	2.5	28.9	21.6	100
10	70.6	250	9.8	44.8	0.0	35.3	10.1	100
11	49.4	50	9.8	44.8	0.0	35.3	10.1	100
12	70.6	250	16.2	44.8	5.0	16.1	18.0	100
13	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
14	70.6	50	16.2	44.8	5.0	26.5	7.5	100
15	49.4	250	16.2	44.8	0.0	18.5	20.6	100
16	49.4	250	9.8	41.2	0.0	38.1	10.9	100
17	49.4	50	9.8	44.8	0.0	21.5	23.9	100

#	Temp.	Durezza	% Surf.	% Metasilicato	% TPFS	%Carbonato	%Silicato	%Total
18	70.6	250	9.8	41.2	5.0	20.8	23.2	100
19	49.4	50	9.8	41.2	0.0	23.1	25.8	100
20	60	150	13.0	43.0	0.0	25.1	18.9	100
21	70.6	50	9.8	41.2	0.0	38.1	10.9	100
22	49.4	250	16.2	41.2	0.0	33.1	9.4	100
23	49.4	250	16.2	41.2	5.0	17.8	19.8	100
24	49.4	250	16.2	44.8	5.0	16.1	18.0	100
25	49.4	50	16.2	44.8	0.0	30.4	8.7	100
26	60	0	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
27	70.6	50	16.2	41.2	5.0	29.3	8.3	100
28	49.4	50	9.8	44.8	5.0	31.5	9.0	100
29	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
30	49.4	250	9.8	41.2	0.0	23.1	25.8	100
31	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
32	49.4	250	9.8	44.8	0.0	35.3	10.1	100
33	49.4	50	16.2	44.8	0.0	18.5	20.6	100
34	70.6	50	16.2	44.8	5.0	16.1	18.0	100
35	60	150	13.0	43.0	5.0	22.3	16.7	100
36	49.4	50	9.8	41.2	0.0	38.1	10.9	100
37	70.6	50	9.8	41.2	5.0	20.8	23.2	100
38	49.4	250	16.2	44.8	0.0	30.4	8.7	100
39	70.6	250	9.8	44.8	0.0	21.5	23.9	100
40	70.6	250	16.2	41.2	5.0	29.3	8.3	100
41	49.4	250	9.8	44.8	0.0	21.5	23.9	100
42	60	150	22.0	43.0	2.5	18.6	13.9	100
43	60	150	13.0	38.0	2.5	26.6	19.9	100
44	70.6	250	16.2	41.2	5.0	17.8	19.8	100
45	49.4	250	16.2	41.2	5.0	29.3	8.3	100
46	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
47	49.4	50	9.8	41.2	5.0	34.2	9.7	100
48	70.6	50	9.8	44.8	0.0	21.5	23.9	100
49	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
50	49.4	50	16.2	41.2	5.0	29.3	8.3	100
51	49.4	250	9.8	41.2	5.0	20.8	23.2	100
52	70.6	50	16.2	44.8	0.0	18.5	20.6	100
53	70.6	50	9.8	41.2	5.0	34.2	9.7	100
54	70.6	250	16.2	44.8	0.0	30.4	8.7	100
55	70.6	250	16.2	44.8	5.0	26.5	7.5	100
56	70.6	50	16.2	44.8	0.0	30.4	8.7	100
57	30	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
58	49.4	50	16.2	41.2	0.0	20.1	22.5	100
59	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
60	49.4	50	16.2	44.8	5.0	26.5	7.5	100
61	70.6	50	16.2	41.2	0.0	33.1	9.4	100
62	70.6	50	16.2	41.2	0.0	20.1	22.5	100

#	Temp.	Dureza	% Surf.	% Metasilicato	% TPFS	%Carbonato	%Silicato	%Total
63	60	150	13.0	43.0	2.5	16.6	24.9	100
64	70.6	50	9.8	44.8	5.0	31.5	9.0	100
65	70.6	250	9.8	41.2	0.0	23.1	25.8	100
66	70.6	50	9.8	44.8	5.0	19.1	21.3	100
67	49.4	250	16.2	41.2	0.0	20.1	22.5	100
68	49.4	50	9.8	41.2	5.0	20.8	23.2	100
69	49.4	250	9.8	44.8	5.0	31.5	9.0	100
70	90	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
71	70.6	250	16.2	41.2	0.0	33.1	9.4	100
72	70.6	250	9.8	41.2	0.0	38.1	10.9	100
73	70.6	250	9.8	44.8	5.0	19.1	21.3	100
74	70.6	250	9.8	44.8	5.0	31.5	9.0	100
75	49.4	250	9.8	44.8	5.0	19.1	21.3	100
76	70.6	250	9.8	41.2	5.0	34.2	9.7	100
77	49.4	50	16.2	41.2	5.0	17.8	19.8	100
78	49.4	250	9.8	41.2	5.0	34.2	9.7	100
79	49.4	250	16.2	44.8	5.0	26.5	7.5	100
80	70.6	250	16.2	44.8	0.0	18.5	20.6	100
81	60	150	13.0	43.0	2.5	41.5	0.0	100
82	49.4	50	16.2	44.8	5.0	16.1	18.0	100
83	49.4	50	16.2	41.2	0.0	33.1	9.4	100
84	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
85	60	300	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100
86	60	150	13.0	43.0	2.5	23.7	17.8	100

Para lograr decodificar a su vez esta matriz de porcentajes, en una matriz en gramos de cada componente, se hizo uso de la información obtenida mediante las 35 pruebas previas a este diseño de experimentos, ya reportadas al inicio del capítulo. Estas pruebas determinaron el intervalo de concentración de surfactante que debería ser probado en el diseño de experimentos, con el fin de retirar el aceite de la lata sin tener problemas por exceso de espuma en el tratamiento aerobio de aguas.

Como ya se pudo ver al final de la sección 6.2, en el figura 3, existe una serie de concentraciones de surfactante que tienen prácticamente la misma eficiencia de remoción de grasa. Este rango es aproximadamente de 0.6 a 4.5 g/L de surfactante, teniendo una diferencia de 2% en la remoción de grasa, entre estas dos cantidades. Por esta razón se decidió estudiar la efectividad 86 diferentes formulaciones de detergentes

en un intervalo de 0.2235 a 1.229 g/L, donde esa concentración de 0.6 g/L (la concentración mínima donde se obtienen resultados de aproximadamente 86%, según los datos ya reportados) quedara aproximadamente a la mitad del intervalo de experimentación, teniendo así la oportunidad de observar también resultados por arriba y por debajo de este punto. En la siguiente tabla (tabla XIX) se muestra el intervalo de concentraciones de surfactante dentro del cuál se realizó el diseño de experimentos, en cinco niveles que corresponden a 5 porcentajes (tabla VI), los que a su vez corresponden a los valores -2.82843, -1, 0, 1 y 2.82843, pertenecientes a la matriz de experimentos propuesta por DESIGN EXPERT (tabla V).

TABLA XIX.- Intervalo de concentraciones explorado en el diseño de experimentos.

Código	Porcentaje %	Gramos/l
-2.82843	4	0.2235
-1	9.8	0.5485
0	13	0.7263
1	16.2	0.9040
2.82843	22	1.2290

Combinando la información de los porcentajes de cada componente de los detergentes, en cada prueba, además de un base másica dada por el intervalo de concentraciones de surfactante encontrado en las pruebas preliminares, se pudo codificar la matriz de experimentos base porcentajes, en una matriz base gramos, la cuál se muestra a continuación.

TABLA XX.- Matriz de experimentos decodificada base gramos

Prueba	Temp. (C)	Dureza ppm.	Surfactante (g.)	Metasilicato (g.)	Silicato (g.)	Carbonato (g.)	TPFS (g.)	Suma (g.)
1	70.6	50	0.8227	3.4552	2.1626	1.9393	0.0000	8.3798
2	70.6	50	1.3560	3.4552	1.6606	1.4891	0.4190	7.9608
3	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
4	49.4	0	0.8227	3.7515	1.7855	1.6011	0.4190	7.9608
5	70.6	0	1.3560	3.4552	1.8815	1.6872	0.0000	8.3798
6	60.0	0	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703

#	Temp.	Dureza	% Surf.	% Metasilicato	% TPFS	%Carbonato	%Silicato	%Total
7	70.6	50	0.8227	3.7515	0.8437	2.9619	0.0000	8.3798
8	60.0	150	1.0894	4.0223	1.3108	1.7478	0.2095	8.1703
9	60.0	150	0.3352	3.6033	1.8136	2.4182	0.2095	8.1703
10	70.6	250	0.8227	3.7515	0.8437	2.9619	0.0000	8.3798
11	49.4	50	0.8227	3.7515	0.8437	2.9619	0.0000	8.3798
12	70.6	250	1.3560	3.7515	1.5044	1.3490	0.4190	7.9608
13	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
14	70.6	50	1.3560	3.7515	0.6326	2.2208	0.4190	7.9608
15	49.4	250	1.3560	3.7515	1.7253	1.5471	0.0000	8.3798
16	49.4	250	0.8227	3.4552	0.9094	3.1925	0.0000	8.3798
17	49.4	50	0.8227	3.7515	2.0064	1.7992	0.0000	8.3798
18	70.6	250	0.8227	3.4552	1.9417	1.7412	0.4190	7.9608
19	49.4	50	0.8227	3.4552	2.1626	1.9393	0.0000	8.3798
20	60.0	150	1.0894	3.6033	1.5802	2.1069	0.0000	8.3798
21	70.6	50	0.8227	3.4552	0.9094	3.1925	0.0000	8.3798
22	49.4	250	1.3560	3.4552	0.7911	2.7775	0.0000	8.3798
23	49.4	250	1.3560	3.4552	1.6606	1.4891	0.4190	7.9608
24	49.4	250	1.3560	3.7515	1.5044	1.3490	0.4190	7.9608
25	49.4	50	1.3560	3.7515	0.7255	2.5469	0.0000	8.3798
26	60.0	0	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
27	70.6	50	1.3560	3.4552	0.6983	2.4514	0.4190	7.9608
28	49.4	50	0.8227	3.7515	0.7508	2.6358	0.4190	7.9608
29	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
30	49.4	250	0.8227	3.4552	2.1626	1.9393	0.0000	8.3798
31	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
32	49.4	250	0.8227	3.7515	0.8437	2.9619	0.0000	8.3798
33	49.4	50	1.3560	3.7515	1.7253	1.5471	0.0000	8.3798
34	70.6	50	1.3560	3.7515	1.5044	1.3490	0.4190	7.9608
35	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4006	1.8675	0.4190	7.9608
36	49.4	50	0.8227	3.4552	0.9094	3.1925	0.0000	8.3798
37	70.6	50	0.8227	3.4552	1.9417	1.7412	0.4190	7.9608
38	49.4	250	1.3560	3.7515	0.7255	2.5469	0.0000	8.3798
39	70.6	250	0.8227	3.7515	2.0064	1.7992	0.0000	8.3798
40	70.6	250	1.3560	3.4552	0.6983	2.4514	0.4190	7.9608
41	49.4	250	0.8227	3.7515	2.0064	1.7992	0.0000	8.3798
42	60.0	150	1.8436	3.6033	1.1672	1.5562	0.2095	8.1703
43	60.0	150	1.0894	3.1843	1.6700	2.2266	0.2095	8.1703
44	70.6	250	1.3560	3.4552	1.6606	1.4891	0.4190	7.9608
45	49.4	250	1.3560	3.4552	0.6983	2.4514	0.4190	7.9608
46	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
47	49.4	50	0.8227	3.4552	0.8165	2.8664	0.4190	7.9608

#	Temp.	Dureza	% Surf.	% Metasilicato	% TPFS	%Carbonato	%Silicato	%Total
48	70.6	50	0.8227	3.7515	2.0064	1.7992	0.0000	8.3798
49	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
50	49.4	50	1.3560	3.4552	0.6983	2.4514	0.4190	7.9608
51	49.4	250	0.8227	3.4552	1.9417	1.7412	0.4190	7.9608
52	70.6	50	1.3560	3.7515	1.7253	1.5471	0.0000	8.3798
53	70.6	50	0.8227	3.4552	0.8165	2.8664	0.4190	7.9608
54	70.6	250	1.3560	3.7515	0.7255	2.5469	0.0000	8.3798
55	70.6	250	1.3560	3.7515	0.6326	2.2208	0.4190	7.9608
56	70.6	50	1.3560	3.7515	0.7255	2.5469	0.0000	8.3798
57	30.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
58	49.4	50	1.3560	3.4552	1.8815	1.6872	0.0000	8.3798
59	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
60	49.4	50	1.3560	3.7515	0.6326	2.2208	0.4190	7.9608
61	70.6	50	1.3560	3.4552	0.7911	2.7775	0.0000	8.3798
62	70.6	50	1.3560	3.4552	1.8815	1.6872	0.0000	8.3798
63	60.0	150	1.0894	3.6033	2.0866	1.3910	0.2095	8.1703
64	70.6	50	0.8227	3.7515	0.7508	2.6358	0.4190	7.9608
65	70.6	250	0.8227	3.4552	2.1626	1.9393	0.0000	8.3798
66	70.6	50	0.8227	3.7515	1.7855	1.6011	0.4190	7.9608
67	49.4	250	1.3560	3.4552	1.8815	1.6872	0.0000	8.3798
68	49.4	50	0.8227	3.4552	1.9417	1.7412	0.4190	7.9608
69	49.4	250	0.8227	3.7515	0.7508	2.6358	0.4190	7.9608
70	90.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
71	70.6	250	1.3560	3.4552	0.7911	2.7775	0.0000	8.3798
72	70.6	250	0.8227	3.4552	0.9094	3.1925	0.0000	8.3798
73	70.6	250	0.8227	3.7515	1.7855	1.6011	0.4190	7.9608
74	70.6	250	0.8227	3.7515	0.7508	2.6358	0.4190	7.9608
75	49.4	250	0.8227	3.7515	1.7855	1.6011	0.4190	7.9608
76	70.6	250	0.8227	3.4552	0.8165	2.8664	0.4190	7.9608
77	49.4	50	1.3560	3.4552	1.6606	1.4891	0.4190	7.9608
78	49.4	250	0.8227	3.4552	0.8165	2.8664	0.4190	7.9608
79	49.4	250	1.3560	3.7515	0.6326	2.2208	0.4190	7.9608
80	70.6	250	1.3560	3.7515	1.7253	1.5471	0.0000	8.3798
81	60.0	150	1.0894	3.6033	0.0000	3.4776	0.2095	8.1703
82	49.4	50	1.3560	3.7515	1.5044	1.3490	0.4190	7.9608
83	49.4	50	1.3560	3.4552	0.7911	2.7775	0.0000	8.3798
84	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
85	60.0	300	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703
86	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	8.1703

Ya con esta información, se procedió a realizar los experimentos, de los cuáles se obtuvieron los resultados reportados en la tabla XXI.

TABLA XXI.- Resultados de los 86 experimentos propuestos por DESIGN EXPERT para la búsqueda de la composición ideal del detergente.

Prueba	Lata limpia	Grasa añadida	Lata sucia	Lata lavada	Aceite removido	Porcentaje de remoción de aceite
	(g.)	(g.)	(g.)	(g.)	(g.)	%
1	44.9936	0.1039	45.0975	44.9966	0.1009	97.11
2	45.1196	0.1039	45.2235	45.1297	0.0938	90.28
3	45.3162	0.1039	45.4201	45.3193	0.1008	97.02
4	45.2272	0.1039	45.3311	45.2326	0.0985	94.80
5	45.0689	0.1039	45.1728	45.0756	0.0972	93.55
6	45.481	0.1039	45.5849	45.4835	0.1014	97.59
7	45.0069	0.1039	45.1108	45.0168	0.094	90.47
8	45.2812	0.1039	45.3851	45.2899	0.0952	91.63
9	45.0014	0.1039	45.1053	45.013	0.0923	88.84
10	45.1736	0.1039	45.2775	45.1859	0.0916	88.16
11	45.1311	0.1039	45.235	45.1465	0.0885	85.18
12	45.0779	0.1039	45.1818	45.0883	0.0935	89.99
13	44.9625	0.1039	45.0664	44.9655	0.1009	97.11
14	44.9365	0.1039	45.0404	44.9377	0.1027	98.85
15	44.9483	0.1039	45.0522	44.9552	0.097	93.36
16	45.1829	0.1039	45.2868	45.185	0.1018	97.98
17	45.2171	0.1039	45.321	45.2201	0.1009	97.11
18	44.7209	0.1039	44.8248	44.7293	0.0955	91.92
19	44.8863	0.1039	44.9902	44.8898	0.1004	96.63
20	44.9579	0.1039	45.0618	44.9657	0.0961	92.49
21	44.9462	0.1039	45.0501	44.9479	0.1022	98.36
22	45.1757	0.1039	45.2796	45.1834	0.0962	92.59
23	45.3926	0.1039	45.4965	45.4002	0.0963	92.69
24	44.9886	0.1039	45.0925	44.9921	0.1004	96.63
25	45.1075	0.1039	45.2114	45.1085	0.1029	99.04
26	45.0276	0.1039	45.1315	45.0297	0.0948	97.98
27	45.2993	0.1039	45.4032	45.3113	0.0919	88.45

Prueba	Lata limpia	Grasa añadida	Lata sucia	Lata lavada	Aceite removido	Porcentaje de remoción de aceite
	(g.)	(g.)	(g.)	(g.)	(g.)	%
29	45.016	0.1039	45.1199	45.0184	0.1015	97.69
30	45.2704	0.1039	45.3743	45.2856	0.0887	85.37
31	45.0606	0.1039	45.1645	45.0638	0.1007	96.92
32	45.3237	0.1039	45.4276	45.324	0.1036	99.71
33	45.5584	0.1039	45.6623	45.561	0.1013	97.50
34	45.0826	0.1039	45.1865	45.0869	0.0996	95.86
35	45.2733	0.1039	45.3772	45.2745	0.1027	98.85
36	45.1185	0.1039	45.2224	45.1199	0.1025	98.65
37	44.9622	0.1039	45.0661	44.9676	0.0985	94.80
38	45.1403	0.1039	45.2442	45.1535	0.0907	87.30
39	45.2324	0.1039	45.3363	45.2381	0.0982	94.51
40	45.0373	0.1039	45.1412	45.0486	0.0926	89.12
41	44.9028	0.1039	45.0067	44.903	0.1037	99.81
42	44.9428	0.1039	45.0467	44.945	0.1017	97.88
43	44.9757	0.1039	45.0796	44.9888	0.0908	87.39
44	44.7759	0.1039	44.8798	44.7896	0.0902	86.81
45	44.8946	0.1039	44.9985	44.9055	0.093	89.51
46	45.0416	0.1039	45.1455	45.0438	0.1017	97.88
47	44.8184	0.1039	44.9223	44.8288	0.0935	89.99
48	45.1395	0.1039	45.2434	45.1401	0.1033	99.42
49	44.8482	0.1039	44.9521	44.8515	0.1006	96.82
50	45.2191	0.1039	45.323	45.2205	0.1025	98.65
51	45.0412	0.1039	45.1451	45.0467	0.0984	94.71
52	45.3909	0.1039	45.4948	45.3918	0.103	99.13
53	45.197	0.1039	45.3009	45.1973	0.1036	99.71
54	44.9866	0.1039	45.0905	44.9921	0.0984	94.71
55	45.065	0.1039	45.1689	45.0678	0.1011	97.31
56	45.0992	0.1039	45.2031	45.1	0.1031	99.23
57	44.8616	0.1039	44.9655	44.8669	0.1025	94.90
58	45.0136	0.1039	45.1175	45.0149	0.1026	98.75
59	45.1629	0.1039	45.2668	45.1661	0.1007	96.92
60	45.112	0.1039	45.2159	45.113	0.1029	99.04
61	45.2873	0.1039	45.3912	45.2941	0.0971	93.46
62	45.2713	0.1039	45.3752	45.2785	0.0967	93.07

Prueba	Lata limpia	Grasa añadida	Lata sucia	Lata lavada	Aceite removido	Porcentaje de remoción de aceite
63	45.1276	0.1039	45.2315	45.1284	0.1031	99.23
64	45.2266	0.1039	45.3305	45.2287	0.1018	97.98
65	45.3533	0.1039	45.4572	45.3594	0.0978	94.13
66	45.0633	0.1039	45.1672	45.0779	0.0893	85.95
67	45.087	0.1039	45.1909	45.0876	0.1033	99.42
68	45.2725	0.1039	45.3764	45.2731	0.1033	99.42
69	45.0387	0.1039	45.1426	45.0395	0.1031	99.23
70	45.5865	0.1039	45.6904	45.5931	0.0973	93.65
71	45.0117	0.1039	45.1156	45.0165	0.0991	95.38
72	44.6204	0.1039	44.7243	44.6214	0.1029	99.04
73	45.2474	0.1039	45.3513	45.2503	0.101	97.21
74	45.2887	0.1039	45.3926	45.2966	0.096	92.40
75	44.8698	0.1039	44.9737	44.8721	0.1016	97.79
76	45.4934	0.1039	45.5973	45.4938	0.1035	99.62
77	44.7871	0.1039	44.891	44.7891	0.1019	98.08
78	45.6033	0.1039	45.7072	45.6074	0.0998	96.05
79	45.0863	0.1039	45.1902	45.0932	0.097	93.36
80	45.5911	0.1039	45.695	45.5952	0.0998	96.05
81	44.975	0.1039	45.0789	44.9768	0.1021	98.27
82	44.773	0.1039	44.8769	44.7766	0.1003	96.54
83	44.8922	0.1039	44.9961	44.8984	0.0977	94.03
84	44.8896	0.1039	44.9935	44.8934	0.1001	96.34
85	45.1374	0.1039	45.2413	45.153	0.0883	84.99
86	45.1867	0.1039	45.2906	45.1899	0.1007	96.92

Como se puede observar, los resultados obtenidos fueron buenos en general, en cuanto a la remoción de aceite de las latas. En las siguientes secciones se reportará el análisis matemático y modelado de los resultados reportados en la tabla anterior, así como una comparación entre casos en los cuales sólo varía un factor. De esta forma se pudieron obtener conclusiones sobre el efecto de las condiciones del medio de lavado y los diversos componentes de los detergentes, en la remoción de la suciedad.

6.6 Análisis matemático y modelado de resultados

Los resultados reportados en la tabla XXI fueron introducidos en el paquete utilizado para el diseño de experimentos, con el fin de obtener el modelo al que mejor se ajustaran.

Se buscó realizar diferentes ajustes: cúbico, cuadrático y lineal. La razón de no buscar un ajuste lineal únicamente, fue la cantidad de variables que se manejaron en el diseño de experimentos. Por esta razón, se realizaron los diferentes ajustes para hacer una evaluación (tomando como criterio el valor p) y determinar el adecuado.

El primer ajuste que se buscó fue el lineal. A continuación se muestra la tabla que muestra el análisis de varianza para el modelo lineal.

TABLA XXII.- Análisis de varianza para el modelo lineal

ANOVA for Response Surface Linear Model					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	128.133	6	21.3555	1.25336	0.2886
Residual	1346.05	79	17.0386		
Lack of Fit	1294.05	70	18.4864	3.19919	0.0316
Pure Error	52.0061	9	5.77845		
Cor Total	1474.19	85			

Como puede verse en la tabla anterior, la probabilidad de que algún dato quede fuera del modelo es de 28.86%, como puede verse en la columna del valor p (Prob > F). Esto indica que no es un buen ajuste el que se tendría con un modelo lineal.

A continuación se muestran las mismas tablas para los ajustes cuadrático y cúbico.

TABLA XXIII.- Análisis de varianza para el modelo cuadrático.

ANOVA for Response Surface Quadratic Model					
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	356.326	27	13.1973	0.684739	0.8585

Residual	1117.86	58	19.2734		
Lack of Fit	1065.85	49	21.7521	3.76435	0.0190
Pure Error	52.0061	9	5.77845		
Cor Total	1474.19	85			

TABLA XXIV.- Análisis de varianza para el modelo cúbico

ANOVA	for	Response	Surface	Cubic	Model
Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F Value	Prob > F
Model	932.243	53	17.5895	1.0386	0.4631
Residual	541.943	32	16.9357		
Lack of Fit	489.937	23	21.3016	3.68638	0.0237
Pure Error	52.0061	9	5.77845		
Cor Total	1474.19	85			

Como puede verse en las dos tablas, ni el modelo cuadrático, ni el cúbico logran un buen ajuste. Esto se ve en que la probabilidad de que los datos salgan de la predicción es 85.85% y 46.31%, respectivamente. Por esta razón, si se tuviera que escoger una regresión, esta sería la lineal, ya que aunque su ajuste no es bueno, es mejor que el cuadrático y el cúbico. La regresión lineal se muestra a continuación:

$$\% \text{ de remoción de aceite} = 94.9148 - 0.364881 * A + 0.249747 * B - 1.04226 * C - 0.0115336 * D - 0.559156 * E + 0.0839339 * F$$

Donde:

A= Temperatura (°C) (En el intervalo de 30-90 °C)

B= Dureza (ppm.) (En el intervalo de 0-300 ppm.)

C= Concentración de surfactante (g/L) (En el intervalo de 0.2235-1.2290 g/L)

D= Relación Silicato/Carbonato (adimensional) (En el intervalo de 0.00001 a 1.5, es decir, entre 0 y 2.0866 g/L de silicato de sodio y entre 1.3910 y 3.4776 g/L de carbonato de sodio)

E= Concentración de metasilicato de sodio (g/L) (En el intervalo de 3.1843 y 4.0223 g/L)

F= Concentración de TPFS (g/L) (En el intervalo de 0 y 0.4190 g/L)

6.7 Observaciones

Habiendo visto que los resultados obtenidos no pudieron ser ajustados a prácticamente ningún modelo, en esta sección se reportan observaciones comparativas tanto de la eficiencia de remoción de diversas formulaciones, como del aspecto de las latas después del lavado.

6.7.1 Eficiencia de remoción de grasa

Como se pudo ver en la sección 6.6, el análisis de regresión no nos pudo dar una tendencia confiable en cuanto a la influencia de los diferentes factores, en el porcentaje de remoción de grasa. Debido a esto, a continuación se muestran algunas comparaciones entre los datos de aquellos experimentos donde sólo varió un factor.

6.7.1.1 Temperatura

Para observar el efecto de la temperatura, se reportan los resultados de las pruebas 3, 57 y 70; donde el único factor que varía es la temperatura.

TABLA XXV.- Experimentos 3, 57 y 70. Efecto de la temperatura en el lavado.

#	Temp. (C)	Dureza ppm.	Surfactante (g.)	Metasilicato (g.)	Silicato (g.)	Carbonato (g.)	TPFS (g.)	% Aceite Removido (g.)
57	30.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	94.9
3	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	97.02
70	90.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	93.65

Como se puede ver en la tabla anterior, la remoción de grasa, medida por diferencia de pesos, aumenta al aumentar la temperatura de 30 a 60 °C. La razón se encuentra en el aumento de la solubilidad del surfactante y que al aumentar la temperatura el aceite parece reducir la fuerza con la cual se adhiere a la superficie metálica. Lo más lógico sería que aumentara de igual forma al subir la temperatura a 90 °C, sin embargo, como se puede observar, esto no sucede. La posible razón de esto es que, como se sabe, la solubilidad del carbonato de sodio es inversa (Tabla XXXIII) a partir de los 30 °C. Esto hace pensar que a los 90 °C el efecto positivo del aumento de temperatura se vio superado por la depositación del carbonato de calcio sobre la lata, lo que hizo mayor la lectura del peso después del lavado, y por lo tanto el porcentaje de grasa removida.

Esta interferencia causada por las sales en el medio de lavado impidió el modelado correcto del efecto de la temperatura en el porcentaje de remoción de aceite.

6.7.1.2 Dureza

Para observar el efecto de la dureza, se reportan los resultados de las pruebas 3, 26 y 85; donde el único factor que varía es la dureza.

TABLA XXVI.- Experimentos 3, 26 y 85. Efecto de la dureza en el lavado.

#	Temp. (C)	Dureza Ppm.	Surfactante (g.)	Metasilicato (g.)	Silicato (g.)	Carbonato (g.)	TPFS (g.)	% Aceite Removido (g.)
26	60.0	0	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	97.28
3	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	97.02
85	60.0	300	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	84.99

En la tabla anterior no se puede observar un efecto claro de la dureza. Es lógico el aumento en el porcentaje de remoción de grasa al disminuir la dureza de 300 a 150 ppm. Sin embargo, al comparar los experimentos que tienen 0 y 150 ppm. , se tiene

prácticamente el mismo porcentaje de remoción de aceite, lo cuál no fue lo esperado. Se desconoce con certeza la razón de esta constancia en el valor de aceite removido cuando varió la dureza en este caso.

A pesar de esta inconsistencia, en muchos otros casos, la dureza menor de algún experimento se manifestó en un mejor desempeño del detergente, como en los casos reportados en la siguiente tabla.

TABLA XXVII.- Casos donde un grado menor de dureza implica una mayor remoción de aceite.

#	Temp. (C)	Dureza ppm.	Surfactante (g.)	Metasilicato (g.)	Silicato (g.)	Carbonato (g.)	TPFS (g.)	% Aceite removido (g.)
34	70.6	50	1.3560	3.7515	1.5044	1.3490	0.4190	95.86
12	70.6	250	1.3560	3.7515	1.5044	1.3490	0.4190	89.99
2	70.6	50	1.3560	3.4552	1.6606	1.4891	0.4190	90.28
44	70.6	250	1.3560	3.4552	1.6606	1.4891	0.4190	86.81
19	49.4	50	0.8227	3.4552	2.1626	1.9393	0.0000	96.63
30	49.4	250	0.8227	3.4552	2.1626	1.9393	0.0000	85.37

En la tabla anterior se pueden ver tres casos: el de el par de experimentos compuesto por el lavado número 12 y 34, el de 2 y 44 y el de 19 y 30 (el número de experimentos puede verse a la extrema izquierda de la tabla). En estos casos, como puede verse, la diferencia en la eficiencia de la remoción de grasa es considerablemente mayor para las latas que tienen una menor dureza en el medio de lavado, como en realidad debe darse.

6.7.1.3 Surfactante

Para tener una idea de cómo varió el porcentaje de remoción de grasa de acuerdo a la cantidad de surfactante utilizado, se comparan en la siguiente tabla algunos casos

donde la magnitud de las variables son todas iguales, excepto la de la cantidad de surfactante en el medio de lavado.

TABLA XXVIII.- Experimentos 3, 9 y 42. Efecto de la cantidad de surfactante en el lavado de la lata.

#	Temp. (C)	Dureza Ppm.	Surfactante (gr.)	Metasilicato (gr.)	Silicato (gr.)	Carbonato (gr.)	TPFS (gr.)	%Aceite Removido (gr.)
9	60.0	150	0.3352	3.6033	1.8136	2.4182	0.2095	88.84
3	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	97.02
42	60.0	150	1.8436	3.6033	1.1672	1.5562	0.2095	97.88

Como se puede observar, hay una gran variación en el porcentaje de aceite removido al pasar de 0.3352 gramos (0.2235 g/L) a 1.0894 gramos (0.7263 g/L). Esto era de esperarse de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio del intervalo de concentración (figura 3). Así mismo, era de esperarse que al porcentaje de remoción de aceite no variara tanto entre 1.0894 gramos (0.7263 g/L/ y 1.8436 gramos (1.2291 g/L) de surfactante, como se puede corroborar en la tabla XXVIII.

6.7.1.4. Metasilicato

En cuanto a la influencia del metasilicato de sodio en la remoción de aceite, no se pudo encontrar una relación clara entre la variable y la variable de respuesta. Esto se ve ejemplificado por los casos reportados en la tabla XXIX.

TABLA XXIX.- Experimentos 3, 8 y 43. Variación del porcentaje de aceite removido con respecto a la cantidad de metasilicato de sodio en el medio de lavado.

#	Temp. (C)	Dureza Ppm.	Surfactante (gr.)	Metasilicato (gr.)	Silicato (gr.)	Carbonato (gr.)	TPFS (gr.)	% Aceite Removido (gr.)
3	60.0	150	1.0894	3.1843	1.6700	2.2266	0.2095	87.39
8	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	97.02

43	60.0	150	1.0894	4.0223	1.3108	1.7478	0.2095	91.63
----	------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	-------

Como se muestra en la tabla anterior, al predominar el metasilicato de sodio en la formulación sobre las otras sales, no puede observarse una tendencia cierta. Es cierto que al variar el metasilicato en los ejemplos dados también varían las cantidades de las otras sales. Sin embargo, aunque dentro de la matriz de experimentos realizada se podrían hacer otras comparaciones donde no varían las cantidades de las demás sales, tampoco puede observarse si al predominar el metasilicato de sodio, aumenta o disminuye la eficiencia del sistema detergente. Esto último se debe a que mientras en algunas comparaciones de resultados, un mayor predominio de metasilicato de sodio aumenta la eficiencia del sistema detergente; en otros sistemas su predominio disminuye esa eficiencia.

6.7.1.5 Relación de porcentajes % Silicato / % Carbonato

Este factor fue tal vez, el que menos se pudo ajustar a una tendencia. Al hacer una inspección rápida de los resultados obtenidos en la tabla XXI, se puede notar que no hay ningún indicio que marque la preferencia hacia uno u otro agente ablandador. Esto es comprensible ya que inclusive, en la literatura, estos dos componentes son usados en cantidades pequeñas (o inclusive suelen no ser utilizados), dando la idea de que su influencia sobre la eficiencia de lavado es poca.

6.7.1.6 Tripolifosfato de sodio

Los casos comparados para ver el efecto de la concentración de TPFS se muestran en la siguiente tabla.

TABLA XXX.- Experimentos 3, 20 y 35. Efecto de la cantidad de TPFS en el lavado de la lata.

#	Temp. (C)	Dureza Ppm.	Surfactante (gr.)	Metasilicato (gr.)	Silicato (gr.)	Carbonato (gr.)	TPFS (gr.)	%Aceite Removido (gr.)
20	60.0	150	1.0894	3.6033	1.5802	2.1069	0.0000	92.49
3	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4904	1.9872	0.2095	97.02
35	60.0	150	1.0894	3.6033	1.4006	1.8675	0.4190	98.85

Como se puede ver en la tabla XXX, la tendencia marcada hacia un mejor lavado, a mayor presencia de TPFS, es clara. Este “builder” es el mejor hoy en día y no ha podido ser reemplazado por algún otro que tenga propiedades similares. Es cierto que las descargas de aguas que contienen TPFS, causan grandes impactos a los cuerpos receptores (y a los tratamientos de aguas) por la generación de algas. Debido a esto, deben tomarse medidas para evitar que las descargas de aguas a cuerpos naturales de agua contengan estos compuestos. De esta manera se haría un uso correcto de este aditivo, el cuál por otro lado, promueve un desempeño óptimo del surfactante y en consecuencia, su uso racional.

Aspecto de las latas después del lavado

En cuanto al aspecto de las latas después del lavado, no hay mucho que detallar. Una inspección por caso no encontró muchas variaciones en cuanto al aspecto. La gran mayoría de las latas se veían considerablemente sucias aunque la remoción de grasa, medida por diferencia de pesos, dijera lo contrario.

La mezcla de aditivos suavizadores utilizada y surfactante dio buenos resultados en general en cuanto a la eficiencia de remoción de grasa, como ya se vio en la sección anterior. La causa de esta eficiencia se podría atribuir al estudio previo de la

concentración de surfactante y a las proporciones surfactante: agente suavizante bien llevadas.

A pesar de esto, como se sabía desde el inicio, el peso total de los agentes suavizadores sería mucho mayor al normal, ya que se necesita una mayor cantidad de ablandadores como silicato de sodio, metasilicato de sodio y carbonato de sodio; para poder compensar la ausencia de un “builder” tan efectivo como lo es el Tripolifosfato de sodio. Esto hizo que al tener una gran cantidad de estas sales en solución, el medio se saturara, y aunado esto a la solubilidad inversa de algunas de estas sales, se depositaran sobre la lata, dándole un mal aspecto.

TABLA XXXI.- Observaciones del aspecto por cada lata lavada dentro del diseño de experimentos.

#	ASPECTO	COMENTARIOS
1	---	Abundantes manchas blancas
2	---	Abundantes manchas blancas. Se observaron gotas de aceite sobre la superficie de la lata
3	--	Manchas blancas. Se observaron gotas de aceite sobre la superficie de la lata
4	--	Manchas blancas. Pocas gotas de aceite. Corrosión
5	---	Abundantes manchas blancas.
6	---	Abundantes manchas blancas. Corrosión
7	---	Abundantes manchas blancas. Gotas de aceite.
8	-	Pocas manchas blancas. Pocas gotas de aceite.
9	++	Pocas manchas blancas.
10	--	Algunas manchas blancas. Se observaron gotas de aceite en la superficie de la lata.
11	-	Pocas manchas blancas. Pocas gotas de aceite.
12	--	Manchas blancas. Poca corrosión.
13	-	Manchas blancas.
14	---	Abundantes manchas blancas.
15	+++	Escasos restos de grasa
16	---	Abundantes manchas blancas
17	--	Manchas blancas. Gotas de aceite en la superficie de la lata
18	--	Manchas blancas.

19	---	Abundantes manchas blancas. Algunas picaduras.
20	---	Abundantes manchas blancas. Algunas picaduras.
21	---	Abundantes manchas blancas. Gotas de aceite.
22	-	Algunas manchas blancas.
23	+	Pocas manchas blancas
24	---	Abundantes manchas blancas.
25	--	Manchas blancas.
26	--	Manchas blancas.
27	---	Abundantes manchas blancas.
28	+	Pocas manchas blancas
29	---	Abundantes manchas blancas. Algunas gotas de aceite
30	-	Algunas manchas blancas. Pocas gotas de aceite en la superficie de la lata.
31	++	Pocas manchas.
32	--	Algunas manchas blancas. Corrosión leve.
33	--	Algunas manchas blancas. Corrosión leve.
34	---	Superficie manchada de blanco.
35	---	Superficie manchada de blanco.
36	---	Superficie manchada de blanco.
37	--	Varias manchas blancas.
38	---	Manchas blancas. Corrosión.
39	---	Abundantes manchas blancas.
40	---	Abundantes manchas blancas.
41	--	Manchas blancas
42	-	Pocas manchas blancas.
43	--	Manchas blancas
44	---	Abundantes manchas blancas
45	-	Pocas manchas blancas.
46	---	Abundantes manchas blancas
47	---	Abundantes manchas blancas
48	---	Abundantes manchas blancas
49	---	Abundantes manchas blancas
50	---	Abundantes manchas blancas
51	---	Abundantes manchas blancas y restos de aceite.
52	---	Abundantes manchas blancas
53	---	Abundantes manchas blancas
54	---	Abundantes manchas blancas

55	---	Abundantes manchas blancas
56	---	Abundantes manchas blancas
57	---	Abundantes manchas blancas
58	---	Abundantes manchas blancas
59	---	Abundantes manchas blancas
60	---	Abundantes manchas blancas
61	---	Abundantes manchas blancas
62	---	Abundantes manchas blancas
63	--	Varias manchas blancas
64	---	Abundantes manchas blancas
65	---	Abundantes manchas blancas
66	---	Abundantes manchas blancas
67	-	Pocas manchas,muy localizadas
68	--	Varias manchas blancas
69	-	Pocas manchas,muy localizadas
70	--	Varias manchas blancas
71	-	Algunas manchas blancas, bien localizadas
72	--	Varias manchas blancas
73	--	Varias manchas blancas
74	---	Abundantes manchas blancas
75	+	Algunas manchas blancas
76	---	Abundantes manchas blancas
77	--	Varias manchas blancas
78	--	Varias manchas blancas
79	---	Abundantes manchas blancas
80	--	Varias manchas blancas
81	-	Pocas manchas blancas
82	-	Pocas manchas blancas
83	-	Pocas manchas blancas muy definidas y localizadas
84	+	Pocas manchas blancas muy definidas y localizadas
85	+	Algunas manchas blancas
86	+++	Pocas manchas blancas
		<u>SIMBOLOGÍA</u>
	+++	Sobresaliente
	++	Muy bueno
	+	Bueno

	-	Regular
	--	Malo
	---	Muy malo

Después de analizar y comparar todos los casos de estudio, no se encontró ninguna relación de la abundancia o carencia de algún elemento de las formulaciones con la limpieza de la lata. A pesar de esto, si se observó que los pocos casos que tienen un aspecto de “bueno” hasta “sobresaliente”, se encontraron bajo condiciones de lavado donde la temperatura del medio fue de 49.4 o 60 °C. Esto confirma lo ya comentado a cerca del carbonato de sodio, el cuál afecta el aspecto de la lata de forma considerable mientras aumenta la temperatura.