



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**"INVESTIGACIÓN Y RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA PARA LA PROPUESTA  
DE DESARROLLO DE MEZCLAS DE BUILDERS PARA DETERGENTES  
SÓLIDOS E IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE TÉCNICAS DE PRUEBAS  
DE LABORATORIO."**

**T R A B A J O P R O F E S I O N A L**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**LICENCIADO EN QUÍMICA INDUSTRIAL**

P R E S E N T A:

**ALDO CRISTOPHER CATALÁN BRITO**

**ASESOR:**

**M. en C. Juan Carlos Rueda Jackson**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO**

**2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIAS**

A mi esfuerzo, a mis ganas

## AGRADECIMIENTOS

Al **Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico S.A. de C.V. (CID)**, por permitir mi desarrollo como profesionista durante esos seis meses de agradable convivencia y por brindarme la oportunidad de formar parte de este proyecto.

A **Quimir S.A. de C.V.**, por facilitar la información pertinente para que se desarrollara este Trabajo Profesional. A su Laboratorio de Tecnología, porque en él me desenvolví como trabajador en compañía de amigos como Ana Luisa, Moisés y Carolina.

Al Investigador Titular del Proyecto, **M. en C. Rosa María Corona Flores**, por su amistad, confianza y por el apoyo en la elaboración de este escrito.

A mi asesor, **M. en C. Juan Carlos Rueda Jackson**, por el aviso, por la recomendación, por dedicarme algún tiempo. Porque sin él nada de esto hubiese existido.

Al **Jurado**, por todas sus correcciones y observaciones. Porque creo que serán justos.

A la **Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán**, por entretenerme nueve semestres. Porque mientras formaba parte de este proyecto alguien me preguntó en dónde estudiaba, le contesté y me dijo: “entonces debes ser bueno”.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por el orgullo de pertenecer a ella.

A **Mis Amigos**, por estar ahí aunque no los necesite; por sus apodos. Porque sin ellos no valgo nada; su alma es mi alimento.

A **Mi Familia**, por todo lo bueno, lo malo y lo pésimo. Porque amamos a las personas por lo que son, no porque sean perfectos, no por las cosas que hacen. A **Irma** (mamá), a **Don Quiko** (el grande), a **Lupe** (otra mamá), a **Quiko** (también grande), a **Los Hermanos Muerte** (Beto y Angel), a **Pera** (Esperanza), a **Roberto Paolo** (Enriquito), a **Irma Angélica** (Changy), a **Ana** (Ana María), a **Mariana** (Marianigüi). Porque la familia es lo único seguro en la vida; siempre lo fue y siempre lo será.

A **Mi Dios**, por todas sus bendiciones. A **Mis Demonios**, por no perturbarme.

Con amor y remordimiento  
Aldo C.

## ÍNDICE

	<i>Página</i>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II. OBJETIVOS</b>	5
<b>III. ANTECEDENTES</b>	5
1. Función de los builders	8
2. Sistemas de builders actuales	14
3. Combinaciones de builders	32
4. Cambio de exigencias	35
<b>IV. DESCRIPCIÓN DEL DESEMPEÑO PROFESIONAL</b>	43
<b>V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN</b>	44
1. Información general de builders recabada de libros	44
2. Revisión de patentes de builders	52
3. Técnica para la determinación de la dureza del agua	58
4. Pruebas de detergencia encontradas en revistas	59
5. Pruebas de incrustación en la tela, anti-redeposición de la suciedad y turbidez encontradas en patentes	64
6. Proveedores de materiales y equipos necesarios para el desarrollo del proyecto inexistentes en el laboratorio de trabajo	67
<b>VI. PROPUESTA DE MEZCLAS DE BUILDERS</b>	69
<b>VII. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS DE BUILDERS</b>	74
1. Evaluación del pH de soluciones al 1% (p/v)	75
2. Evaluación de la capacidad buffer	76
3. Evaluación del ablandamiento del agua	79
4. Evaluación de la detergencia	82
5. Prueba de incrustación en la tela	84
6. Prueba de anti-redeposición de la suciedad	85
7. Prueba de turbidez	87
8. Prueba de absorción de surfactantes no iónicos	88
<b>VIII. SELECCIÓN DE PROVEEDORES Y PRODUCTOS</b>	89
<b>IX. RECOMENDACIONES</b>	90
<b>X. CONCLUSIONES</b>	92
<b>XI. BIBLIOGRAFÍA</b>	94

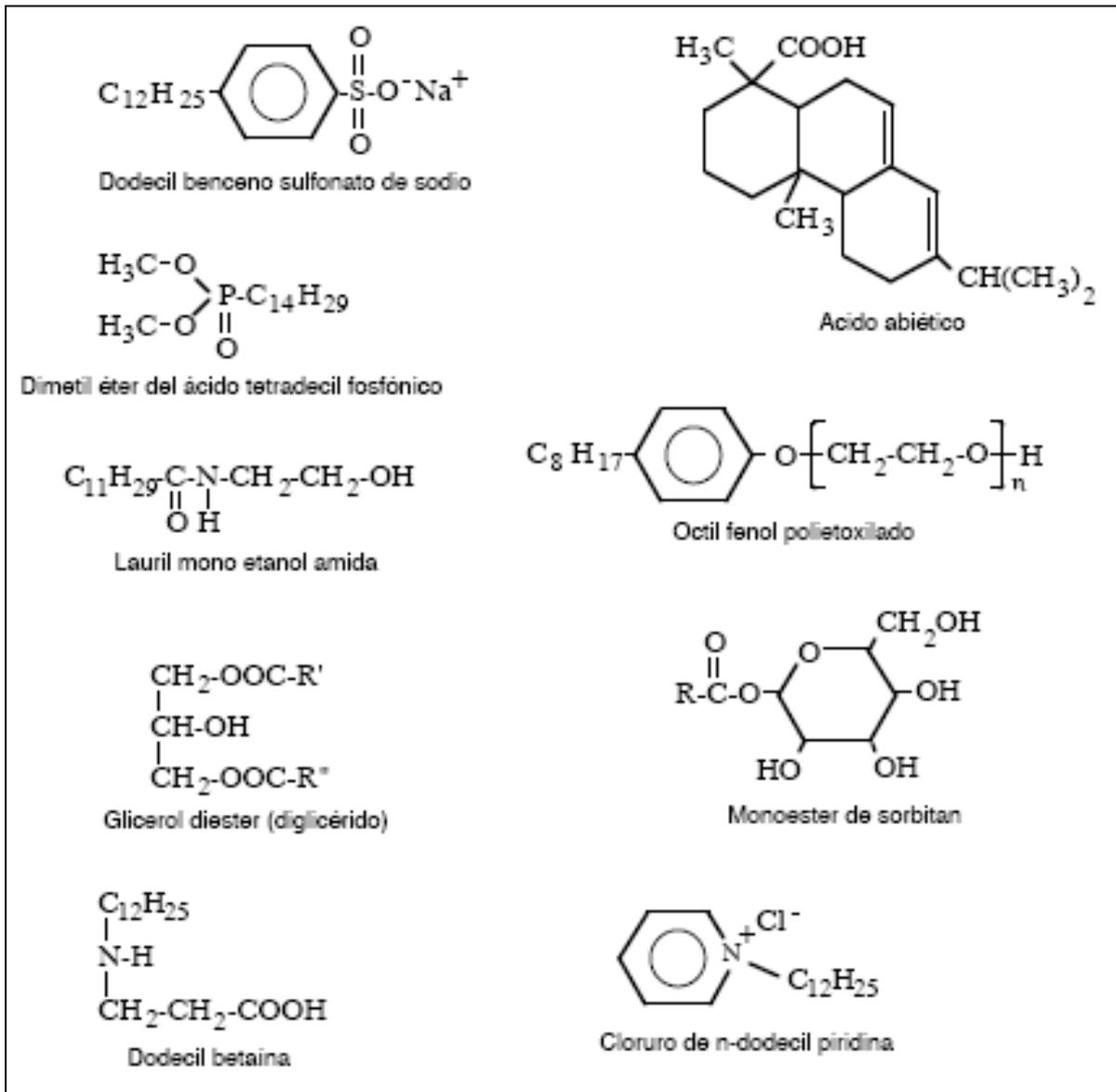
## I. INTRODUCCIÓN

Los principales componentes en la formulación de un detergente sólido son los surfactantes y los builders. Los detergentes para lavado contienen también otros componentes tales como: agentes blanqueadores fluorescentes y de anti-redeposición, además de enzimas y fragancias.

Los surfactantes reducen la tensión superficial del agua e imparten la habilidad de humedecer o mojar la superficie de la tela, aflojan y remueven la suciedad durante el lavado y la emulsifican, solubilizan o suspenden en el agua de lavado. Desde el punto de vista comercial los surfactantes se clasifican según su aplicación. Sin embargo, se observa que muchos surfactantes son susceptibles de ser utilizados en aplicaciones diferentes, lo que provoca confusiones. Por tanto, se prefiere clasificarlos de acuerdo a la estructura de su molécula, o más exactamente según la forma de disociación en el agua. Los surfactantes no iónicos por lógica, no se ionizan en solución acuosa; los surfactantes iónicos presentan tal propiedad (Fig. 1).

Los agentes blanqueadores y activadores oxidan la suciedad y la remueven. Las enzimas eliminan la suciedad proteínica, así como la que contiene carbohidratos y grasas. Los agentes blanqueadores fluorescentes o abrillantadores ópticos hacen que las prendas tengan una apariencia azulada. Las fragancias enmascaran los olores desagradables de las suciedades durante el proceso de lavado e imparten un aroma fresco y agradable a la ropa.

Mientras la eficiencia de los surfactantes, sistemas blanqueadores, enzimas y abrillantadores ópticos son visibles ante los ojos del consumidor, la función de los builders es más difícil de detectar. Sin embargo, los builders son componentes esenciales de los detergentes en polvo y representan un contenido elevado en la formulación de los mismos.



**Fig. 1. Fórmulas desarrolladas de algunos surfactantes corrientes.**

Los builders modernos tienen que cubrir un amplio intervalo de requerimientos conocidos. En particular, deben inactivar los iones causantes de la dureza del agua en el líquido de lavado, como lo son el calcio y el magnesio, y de este modo evitar que interactúen con los surfactantes. Lo anterior incrementa la remoción de la suciedad en un ciclo de lavado sencillo e imparte efectos tales como la inhibición de la incrustación en fibras textiles y máquinas de lavado. Los builders se consideran también una fuente de alcalinidad y actúan como buffer manteniendo el pH en un valor aproximado de 10 en el agua de lavado. Esto

respalda la función de los demás ingredientes del detergente para desalojar y mantener disueltas la suciedad y las manchas y prevenir su redeposición en las telas.

Los builders también imparten estabilidad a los agentes blanqueadores y activadores, así como a las enzimas. Algunos builders también actúan como inhibidores de la corrosión, ayudando a las lavadoras a extender su vida útil.

Es de suma importancia contar con la habilidad de absorber surfactantes no iónicos y de proveer una buena fluidez al polvo, especialmente en detergentes compactos de alta concentración, donde los builders exhiben una buena ayuda al proceso de elaboración.

Todas estas propiedades benéficas contribuyen a un buen desempeño de detergencia. Como los detergentes en polvo están mejor constituidos que los detergentes líquidos de alto rendimiento, comúnmente muestran un mejor desempeño de limpieza, por esa razón los builders se consideran el punto clave en el dominio de los polvos sobre los líquidos.

Usualmente, al emplear un solo builder, éste satisface únicamente algunos de los requerimientos anteriormente mencionados. Por consiguiente, los detergentes modernos contienen una mezcla de diferentes builders, optimizando el efecto global.

Además de satisfacer algunas de las necesidades mencionadas con anterioridad, también son importantes para la implementación de un builder otros aspectos como los costos, aspectos de seguridad y la compatibilidad con el medio ambiente.

El presente trabajo parte de la necesidad de contar con productos de mezclas de builders que puedan ser empleados en la formulación de detergentes y que contengan la mínima cantidad de fosfatos en su formulación; para disminuir los problemas de contaminación ambiental y

que cumplan con el desempeño funcional requerido, por parte del cliente, en la formulación de detergentes.

Cabe destacar que el riesgo de no contar con un tipo de builders que disminuya la contaminación ambiental, pone al negocio en la desventaja de depender únicamente del mercado de builders a base de fosfatos de sodio para la producción de detergentes y la tendencia a disminuir los fosfatos en la formulación de detergentes lo hace vulnerable a seguir perdiendo mercado.

Al desarrollar mezclas de builders para detergentes con un mínimo de fosfato, la empresa ofrecerá a sus clientes actuales otros productos con igual o mejor desempeño, pero que no contaminen. Además de generar productos con mayor valor agregado, le permitirá fortalecer su liderazgo como productor de builders para detergentes.

De este modo, en este escrito, se propone el desarrollo de algunas mezclas de builders para detergentes de lavandería sólidos del tipo convencional, así como la implementación y desarrollo de técnicas de pruebas de laboratorio, de manera tal, que se llegue en un futuro a la selección de una combinación que cumpla con los requerimientos esenciales de desempeño, sin descuidar principalmente la compatibilidad con el medio ambiente, ni aspectos tales como los costos y la seguridad para el cliente.

## II. ANTECEDENTES

Se les llama "jabones" a las sales de sodio o de potasio de ácidos grasos. El jabón, un carboxilato monomérico, es un builder; y no hay que confundir su definición con la de detergente, la cual nos habla de una composición (surfactantes, builders, aditivos).

A principio de los años 20's los detergentes de lavado consistían en jabón, carbonato de sodio y silicato de sodio. En Europa, el perborato de sodio también fue incorporado a esta formulación [1]. Un paso importante en el desarrollo de los detergentes fue la sustitución de builders de precipitación, como el carbonato de sodio y el silicato de sodio, por el agente complejante difosfato de sodio, el cual fue usado en detergentes de lavado de alta calidad principalmente en los años 50's. Pero el difosfato tiende a formar compuestos insolubles con los iones de la dureza del agua, como el calcio y el magnesio, lo que hace que se depositen en las fibras textiles y en las lavadoras disminuyendo su tiempo de vida. Estos obstáculos se vencieron con la introducción de detergentes basados en tripolifosfato de sodio (STPP, por sus siglas en inglés) a comienzos de los años 60's [2].

El STPP llega a ser el builder de mayor preferencia a nivel mundial. No obstante, los fosfatos, no tóxicos y presentes en nuestros alimentos cotidianos, fertilizan las plantas en los campos y las algas en los lagos y los ríos. El efecto combinado del fósforo proveniente de la agricultura, las aguas de desecho y los fosfatos presentes en los detergentes indujeron una fertilización excesiva, llamada eutrofización, en algunos lagos y ríos de poco flujo.

Debido a que los fosfatos presentes en los detergentes promueven la eutrofización fue necesario buscar nuevas alternativas al respecto y surgieron algunos builders como tentativas a la implementación. El nitrilotriacetato de sodio soluble (NTA), muy efectivo para secuestrar iones bivalentes, se introdujo en Canadá, Suiza y Holanda en la formulación

de detergentes de lavado, pero algunos aspectos toxicológicos, tales como la re-movilización de iones metálicos pesados, disminuyeron su uso.

A mediados de 1980, en algunos países de Norteamérica y Europa central, se impone la restricción legal del uso de fosfatos en detergentes de lavado. Esta restricción refuerza la búsqueda de nuevas alternativas para la sustitución de fosfatos en la formulación de detergentes. Además, de nuevos builders se emplean otros cambios en la formulación de detergentes como es el uso de surfactantes no-iónicos para suplir a los aniónicos.

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos insolubles que actúan como intercambiadores iónicos en una forma finamente dispersada en el agua de lavado. A finales de los 80's y principios de los 90's, la zeolita A surge como un sustituto preferente del tripolifosfato de sodio. Sin embargo, la zeolita insoluble remueve los iones de la dureza del agua (calcio y magnesio) más lentamente que los builders solubles tales como el STPP. Además, se emplea generalmente en combinación con un co-builder soluble y dispersante, y un agente que imparta alcalinidad, especialmente el carbonato de sodio.

En Norteamérica y Europa central, la mayoría de los detergentes de lavado de alto rendimiento son detergentes libres de fosfato en su formulación. La combinación zeolita A/carbonato de sodio/policarboxilato es el builder elegido. Estos detergentes contienen copolímeros de ácidos maléico y acrílico, pero también contienen distintos porcentajes de citrato. En los países de Europa occidental y meridional como Gran Bretaña, Francia y España, los detergentes que contienen fosfato aún tienen una participación significativa.

En Europa oriental, Asia central y meridional, África, Australia y Latinoamérica, incluyendo por supuesto a México; los detergentes que contienen fosfato son los que predominan, aunque existe una tendencia a desarrollar detergentes con un nuevo contenido de zeolita en Sudáfrica y Tailandia, por ejemplo. Los detergentes de lavado en Japón y Corea del Sur son

básicamente libres de fosfato y contienen también zeolita A y carbonato de sodio pero usualmente no contienen policarboxilatos [3].

Aún cuando en muchos países donde los fosfatos son usados en detergentes continúa la búsqueda de la posible sustitución del STPP, como en Polonia, Irán y China, la depreciación mundial en el consumo de STPP ha bajado lentamente y se ha nivelado en algunas regiones.

La zeolita A, llegó a ser popular porque podría contribuir a resolver los problemas de eutrofización que producen los detergentes que contienen fosfatos. Sin embargo, algunas compañías continúan buscando alternativas para la sustitución del STPP.

## **1. FUNCIÓN DE LOS BUILDERS**

**Tabla 1. Función de los builders.**

---

<b>Funciones que deben cubrir los builders</b>
Controlar la dureza del agua
Proveer alcalinidad / efecto amortiguador
Actividad dispersante / anti-redeposición
Anticorrosión
Estabilización de agentes blanqueadores
Ayuda de procesamiento, incluyendo su capacidad de absorción de líquidos

---

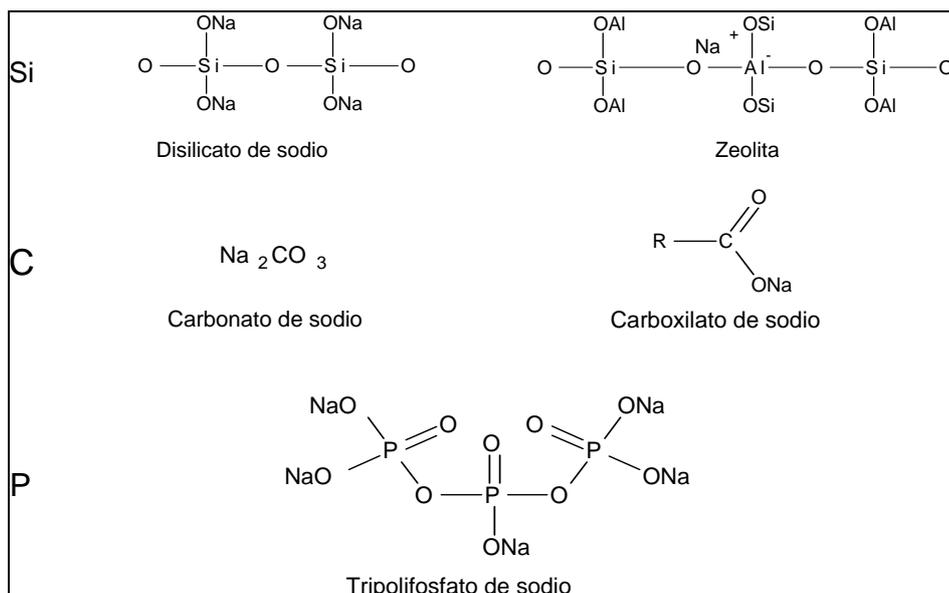
### **A. Capacidad de ablandar el agua.**

La remoción de los iones libres de calcio y de magnesio presentes en el agua de lavado es esencial para optimizar la función de los surfactantes, especialmente la de los surfactantes

aniónicos. La interacción con los iones del agua dura haría, de otro modo, que los surfactantes fueran menos solubles y del mismo modo disminuiría su eficiencia al remover y dispersar la suciedad.

Los builders aumentan también el desempeño de detergencia aflojando la suciedad de las telas, lo cual es provocado por la reacción de los builders con los iones metálicos bivalentes de la suciedad que se deposita en las prendas. Los builders previenen además la incrustación de sales inorgánicas pobremente solubles en las lavadoras y sobre la tela.

Tres elementos químicos crean la base de casi todos los materiales empleados como builders: silicio, carbono y fósforo (Fig. 2 [4]). Estos elementos están presentes en el silicato de sodio, aluminosilicatos de sodio, carbonato de sodio, carboxilatos orgánicos, tripolifosfatos y fosfonatos orgánicos. Todos estos materiales tienen la capacidad de ceder iones sodio y aceptar iones bivalentes en su lugar. Sin embargo, algunos de ellos no se emplean en la actualidad por sus funciones generales como un builder pero si como aditivos específicos.



**Fig. 2. Elementos químicos principales en los builders.**

Los antiguos builders, tales como carbonato de sodio y silicato de sodio, forman precipitados poco solubles con los iones de calcio y magnesio del agua de la llave. A menos que estén presentes otros builders más poderosos o se empleen agentes de anti-redeposición, estos precipitados pueden depositarse en las lavadoras y la ropa. El STPP resuelve este problema debido a que forma complejos altamente solubles con los iones calcio y magnesio. Muchos carboxilatos, como el nitrilotriacetato o el citrato, pueden actuar de manera similar como agentes complejantes.

La zeolita y los nuevos silicatos de sodio (cristalinos) desactivan la dureza del agua mediante un proceso de intercambio iónico. Aún cuando durante el proceso de lavado estos productos son sólidos, difieren de los precipitados de carbonatos y silicatos (amorfo) mencionados con anterioridad porque mantienen su tamaño y forma y, por consiguiente, se dispersan fácilmente y generan poca incrustación en las lavadoras y la ropa.

El principal requerimiento para elegir un builder exitosamente, es la capacidad de secuestrar o intercambiar iones con respecto a los iones calcio y magnesio. Para optimizar el desempeño de detergencia es necesario remover casi por completo dichos iones. Por otro lado, en el caso de algunas formulaciones, es importante la selectividad relativa a estos dos iones, además de la capacidad total. El STPP forma complejos con los iones calcio y magnesio de manera no selectiva mientras que la zeolita A presenta una selectividad mayor hacia los iones calcio que hacia los iones magnesio.

Otro factor que también es importante considerar es la velocidad para secuestrar o intercambiar estos iones. No es suficiente con que el builder tenga una alta capacidad para secuestrar iones bivalentes o una alta capacidad de intercambio iónico, o que exhiba una selectividad apropiada a determinado ion, también es importante la velocidad para lograrlo.

## **B. Fuente de alcalinidad/Capacidad buffer.**

Las condiciones de alcalinidad, pH entre 9.5 y 11, durante el proceso de lavado mejoran el desprendimiento de algunas suciedades depositadas en las telas. La alcalinidad neutraliza los ácidos sebáceos presentes en la mugre para asegurar un enjabonado efectivo. La alcalinidad también es necesaria para saponificar y emulsionar las grasas y aceites. También aumenta la solubilidad o dispersión de materia proteínica. Debido a que la suciedad ácida podría disminuir el pH durante el lavado resultando una limpieza deficiente, la capacidad buffer es necesaria para mantener el pH en el intervalo óptimo de detergencia.

## **C. Dispersar/Actividad de anti-redeposición.**

Otra función importante de los builders es la de suspender la mugre o suciedad que ha sido removida de las telas en el agua de lavado. Los materiales que cuentan con poli-aniones, como el STPP, los silicatos y en especial los policarboxilatos poliméricos son efectivos debido a la repulsión electrostática entre las partículas cargadas negativamente y los poli-aniones de los builders.

## **D. Propiedades anticorrosivas.**

Los compuestos químicos que reaccionan fuertemente con los iones metálicos alcalinotérreos y pesados, son corrosivos para los metales. En particular, los agentes complejantes como el NTA, el STPP y aún el carbonato, son corrosivos. En contraste con estos materiales, algunos silicatos de sodio inhiben la corrosión formando una barrera o capa protectora de sílice con la superficie del metal o porcelana, protegiendo la superficie de la lavadora contra el ataque de iones hidroxilo y agentes complejantes.

## **E. Estabilización de agentes blanqueadores.**

El perborato de sodio mono o tetrahidratado se utiliza principalmente en combinación con un activador, especialmente la tetraacetiletilendiamina (EDTA). En E. U. A., donde prevalecen las bajas temperaturas de lavado y las bajas concentraciones de detergente, el sistema blanqueador estándar es el nonanoiloxibencensulfonato de sodio (SNOBS)/perborato [5].

Algunas preocupaciones ambientales acerca de la presencia del boro en los efluentes han propiciado que los productores de agentes blanqueadores busquen otras alternativas. La más atractiva es el empleo de percarbonato. El percarbonato de sodio no se utiliza comúnmente en detergentes en polvo porque es menos estable que el perborato en condiciones de almacenamiento, especialmente cuando se usa con zeolita A. Esto se debe principalmente a la sensibilidad del percarbonato a la humedad. La zeolita A contiene aproximadamente 25% de agua, lo que causa una alta presión de vapor y por consiguiente la descomposición del percarbonato desprotegido.

En Japón se creó el percarbonato cubierto o revestido, el cual, exhibe una estabilidad al almacenamiento comparable con la del perborato. Los productores de agentes blanqueadores perfeccionaron el sistema, facilitando el uso aún del percarbonato cubierto libre de boro. Estos agentes blanqueadores muestran suficiente estabilidad al almacenamiento para emplearse también, bajo ciertas precauciones, con zeolita A.

Por otra parte, se han desarrollado otros materiales builders, tales como la zeolita MAP o el  $\delta$ -disilicato. Este último, puede usarse en combinación con el percarbonato desprotegido debido a su carácter anhidro, de manera que sea una formulación libre de zeolita.

Aparte de la estabilidad al almacenamiento, es necesario prevenir la descomposición no controlada de los agentes blanqueadores durante el proceso de lavado. Estos son muy sensibles a las trazas de iones metálicos pesados causando la descomposición espontánea del peróxido si dichos iones, especialmente aquellos de magnesio, cobre y hierro, no están ligados.

Los agentes complejantes como los fosfonatos son muy efectivos para ligar los iones de los metales pesados y prevenir la descomposición radical de los blanqueadores. Del mismo modo, las zeolitas y los silicatos de sodio, amorfos y cristalinos, exhiben cierta efectividad para ligar los iones de los metales pesados bajo condiciones alcalinas durante el proceso de lavado y estabilizar los agentes blanqueadores.

#### **F. Ayuda de procesamiento y capacidad de absorción de líquidos.**

Los builders ayudan también al procesamiento en la manufactura de detergentes en polvo. El STPP en combinación con soluciones de silicato de sodio se emplea frecuentemente como un componente base para polvos secos con buena fluidez. En las formulaciones libres de fosfatos las zeolitas cubren esta función. Los requerimientos para “ayuda de procesamiento” se definen para cada proceso. Es de suma importancia contar con una alta capacidad de absorción de líquidos notablemente cuando se emplean surfactantes no iónicos.

## **2. SISTEMAS DE BUILDERS ACTUALES**

### **A. Compuestos de fósforo.**

#### **1. Fosfatos.**

El tripolifosfato de sodio (STPP),  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  (ver Fig. 2), es un builder con propiedades excelentes para las formulaciones en polvo tradicionales. Elimina la dureza del agua por sus propiedades para secuestrar ambos iones, calcio y magnesio, formando complejos solubles [6].

Otra función del STPP es la separación físico-química de enlaces en el interior de la suciedad y entre la suciedad y los tejidos. El STPP también provee condiciones de alcalinidad y amortiguamiento del pH, aunque mínimas en comparación con el carbonato de sodio y el silicato de sodio. Además, dispersa la suciedad y ayuda al procesamiento en la manufactura de detergentes en polvo.

En lo que se refiere a los nuevos detergentes superconcentrados del tipo compacto, e. g. pastillas, el STPP presenta algunas limitaciones ya que puede absorber únicamente pequeñas cantidades de surfactantes no iónicos. Por otra parte, cuando se emplea el STPP puede precipitar el pirofosfato de calcio pobremente soluble causando incrustación.

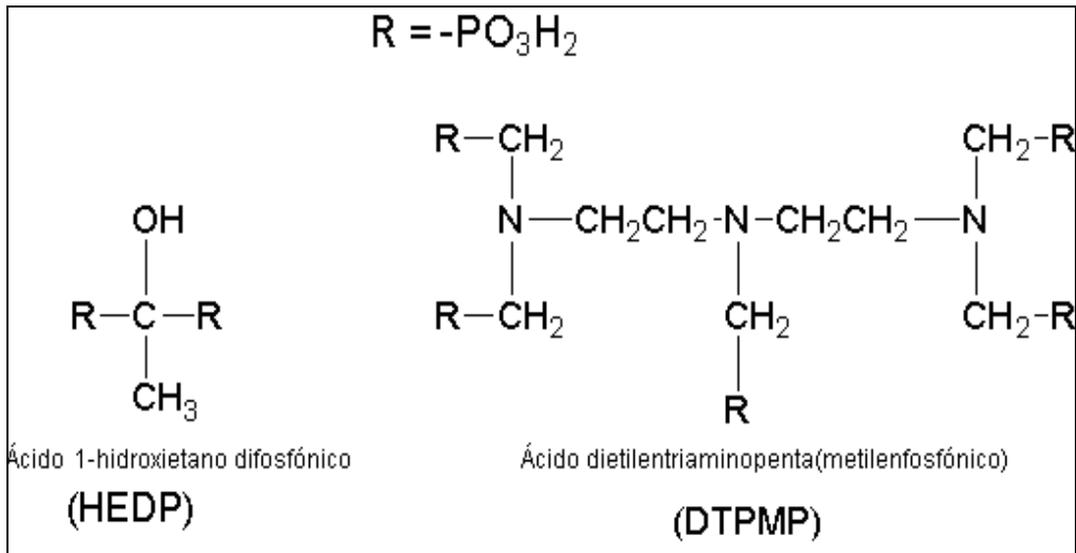
Los fosfatos son nutrientes esenciales en los sistemas acuáticos. El incremento en el nivel de fosfato genera el desarrollo de algas, las cuales pueden inducir la floración en el caso de eutrofización excesiva.

Debido a tal inconveniente, algunos países prefieren disminuir la concentración de STPP en las formulaciones de los detergentes o prohibir el empleo de los fosfatos en los detergentes. En otros países, los productores de detergentes han reducido voluntariamente el nivel o eliminado los fosfatos.

## **2. Fosfonatos.**

Las sales de sodio de ácidos fosfónicos orgánicos (Fig. 3) presentan diversos grupos fosfonato que son agentes complejantes eficientes. Estos compuestos pueden actuar como inhibidores de la formación de cristales y adicionalmente impedir o retardar la precipitación de las sales insolubles y dispersar la mugre. Debido a sus buenas propiedades para secuestrar iones, pueden formar complejos con los iones de los metales pesados, tales como el cobre, el manganeso y el hierro, y estabilizar a los agentes blanqueadores (peróxido). Debido a esta última propiedad, los fosfonatos se incorporan en algunos agentes blanqueadores en detergentes de lavado de alto rendimiento con menos del 1% en su formulación.

Los agentes complejantes fuertes como los fosfonatos pueden causar migración y bio-disponibilidad de los iones de los metales pesados. Sin embargo, como los fosfonatos se absorben con facilidad en los sedimentos, su concentración en el agua es baja.



**Fig. 3. Sales de sodio de ácidos fosfónicos.**

### **B. Silicatos.**

Por muchas décadas, los silicatos de sodio (ver Fig. 2) se han empleado tradicionalmente en las formulaciones de detergentes; primero, en combinación con carbonato de sodio como builder de precipitado, más tarde, como fuente de alcalinidad y agente amortiguador, para acarrear la suciedad dispersada y como inhibidor de la corrosión [7]. Algunos avances recientes han planteado a estos builders como alternativas competitivas contra sistemas de builders tales como el STPP y la zeolita.

Los silicatos de sodio son benignos al ambiente. Con respecto a la seguridad en el manejo de estos materiales, los silicatos son irritantes de los ojos y la piel.

## 1. Silicatos amorfos.

Los silicatos de sodio amorfos, e. g.,  $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Na}_2\text{O}$ , se emplean usualmente en formulaciones de detergentes en polvo debido a sus propiedades alcalinas y anticorrosivas. Además exhiben una habilidad débil para reducir la concentración de iones calcio en la solución y son capaces de secuestrar iones magnesio. Se favorece su empleo en formulaciones en polvo por sus propiedades de inhibición a la corrosión [8].

Comparados con los detergentes a base de fosfatos, los detergentes a base de zeolitas frecuentemente contienen menos silicatos de sodio debido a alguna incompatibilidad en co-procesar estos materiales, especialmente en torres de secado. Sin embargo, los silicatos de sodio tienen una importante función en los polvos de lavandería a base de zeolitas, como un ligante que ayuda a producir gránulos libres de polvo.

Debido a las dificultades que presentan las soluciones de silicatos de sodio con zeolita durante el secado y para procesos que no emplean torres, algunas veces el disilicato amorfo se agrega posteriormente en forma granular a la formulación de detergente. Por muchos años, los silicatos de sodio hidratados se han implementado como co-builders del STPP [9] y de la zeolita [10].

Los productores de silicato de sodio pretenden aumentar la capacidad de secuestrar iones calcio incrementando el grado de polimerización y la distribución del peso molecular de las especies de silicato. Sin embargo, la mayoría de los silicatos de sodio amorfos se han empleado únicamente por sus propiedades de alcalinidad y de anticorrosión, mientras que otros builders como el STPP o la zeolita cubren la función de ablandar el agua.

Recientemente se han diseñado silicatos de sodio granulares para incrementar su capacidad de absorción de líquidos. Dicha función es de suma importancia para la absorción de surfactantes no iónicos en detergentes en polvo altamente concentrados. Estos nuevos silicatos contienen menor humedad y cuentan con espacios disponibles para absorber cantidades adicionales de surfactantes.

Datos publicados acerca de algunos silicatos amorfos desarrollados [11], comparados por ejemplo con la zeolita A, indican una baja capacidad para secuestrar iones Ca(II) aún bajo condiciones de dureza del agua severas (1000ppm CaCO<sub>3</sub>), pero una eficiente reducción de la actividad de Mg(II) en solución.

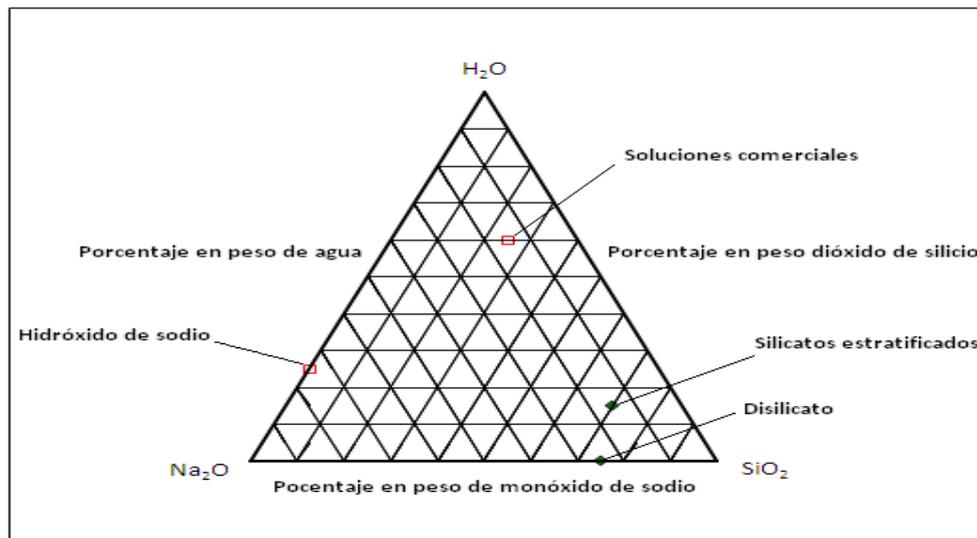
## **2. Silicatos cristalinos.**

(a) Silicatos de cadena/Polisilicatos (silicatos de una dimensión). Un silicato de cadena típico es el metasilicato de sodio anhidro, Na<sub>2</sub>O•SiO<sub>2</sub>. Este silicato se usa ampliamente en detergentes en polvo para lavadoras automáticas (propiedades anticorrosivas) pero no se emplea para detergentes en polvo de lavado común.

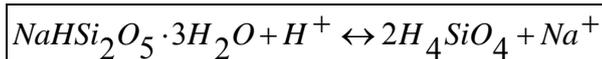
(b) Silicatos estratificados/Filosilicatos (silicatos de dos dimensiones). El desarrollo industrial de los silicatos de sodio estratificados es reciente. Estos materiales exhiben diferentes propiedades fisicoquímicas comparadas con los silicatos amorfos de la misma composición y ofrecen algunos beneficios como builders multifuncionales [12,13].

(1) Silicatos tipo arcilla. Si bien, las bentonitas presentan algunas propiedades de intercambio iónico, éstas no pueden considerarse como builders y tienden a usarse, solas o en combinación, con surfactantes catiónicos y aminas terciarias [14].

(2) Silicatos de sodio estratificados. Los silicatos de sodio pueden ser caracterizados por un diagrama ternario de  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  (Fig. 4). El vértice superior representa el 100% de agua, el vértice derecho el 100% de dióxido de silicio y el vértice izquierdo el 100% de monóxido de sodio. Las soluciones comerciales contienen aproximadamente 60% de agua, como se muestra en el diagrama. Un grupo de silicatos de sodio con estructura estratificada se representa, como un punto, en composiciones de 70% de  $\text{SiO}_2$ , 15% de  $\text{H}_2\text{O}$  y 15% de  $\text{Na}_2\text{O}$ . Estos silicatos son sustancias poliméricas cristalinas con propiedades interesantes para aplicación en detergentes. El  $\delta$ -disilicato es anhidro y se encuentra en el eje del fondo, su fórmula es  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ . Una característica general de los silicatos alcalinos estratificados es su capacidad de intercambio iónico. Como un ejemplo (Fig. 5), intercambian protones por los cationes, usualmente sodio o potasio, manteniéndolos entre los estratos de silicato transformando los silicatos alcalinos (filosilicatos) a ácidos cristalinos [15].



**Fig. 4. Diagrama ternario  $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  [3].**



**Fig. 5. Capacidad de intercambio iónico de un filosilicato.**

(3)  $\delta$ -Disilicato. Los disilicatos de sodio cristalinos estratificados, especialmente las fases  $\delta$  y  $\beta$ , muestran inesperadamente buenas propiedades para secuestrar iones calcio, ligando a la dureza del agua principalmente mediante un proceso de intercambio iónico. Los disilicatos estratificados están siendo empleados como builders efectivos en la formulación de detergentes, pueden emplearse en combinación con una variedad de otros builders [16]. El disilicato de fase  $\delta$ - es el más avanzado de los cuatro disilicatos cristalinos distintos. Se produce mediante la cristalización a alta temperatura del disilicato amorfo [17-19].

La estructura del cristal  $\delta$ - $Na_2Si_2O_5$  se parece a la del mineral natrosilita ( $\beta$ -  $Na_2Si_2O_5$ ). Los principales méritos de  $\delta$ - $Na_2Si_2O_5$  son (1) debido a sus propiedades multifuncionales se pueden producir detergentes altamente concentrados que empleen una pequeña dosis por lavado y (2) la compatibilidad con los sistemas de blanqueo [20,21]. Los disilicatos cristalinos debido a su carácter anhidro, presentan una alta capacidad de absorción de surfactantes no-iónicos.

(4)  $\beta$ -Disilicato. Es muy similar al  $\delta$ -disilicato en su estructura molecular y en sus propiedades fisicoquímicas. El  $\beta$ -disilicato también puede emplearse como builder [16]. Es más fácil de producir que el  $\delta$ -disilicato y es termodinámicamente más estable. El  $\beta$ -disilicato cristaliza alrededor de 600-700° C desde un silicato amorfo [17] o en un proceso hidrotermal a un mínimo de 235° C [22-24].

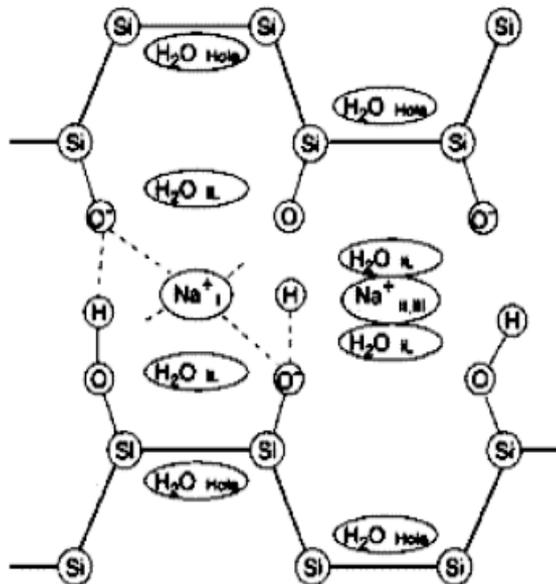
(5) Otros silicatos estratificados. Los silicatos estratificados sintéticos de fórmula  $Na_2Si_{14}O_{29} \cdot 9-11H_2O$  tienen la misma composición y estructura del mineral magadiita (Tabla

2). Estos productos se propusieron como un reemplazo parcial de los fosfatos [25] y para formulación de algunos detergentes [26].

**Tabla 2. Silicatos cristalinos estratificados.**

Silicatos sintéticos		Silicatos naturales (minerales) de composición y estructuras similares
Composición y fase cristalina	Marca registrada	
$\text{Na}_2\text{Si}_{22}\text{O}_{45} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	SKS-1 <sup>a</sup>	Kenianita
$\text{Na}_2\text{Si}_{14}\text{O}_{29} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	SKS-2 <sup>a</sup>	Magadiíta
$\text{Na}_2\text{Si}_8\text{O}_{17} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	SKS-3 <sup>a</sup>	-
$\text{Na}_2\text{Si}_4\text{O}_9 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	SKS-4 <sup>a</sup>	Makatita
$\alpha\text{-Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	SKS-5 <sup>a</sup>	-
$\delta\text{-Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	SKS-6	-
$\beta\text{-Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	SKS-7 <sup>a</sup>	Natrosilita
$\text{NaHSi}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	SKS-9 <sup>a</sup>	-
$\text{NaHSi}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	SKS-10 <sup>a</sup>	Kanemita
$\gamma\text{-Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$	SKS-11 <sup>a</sup>	-

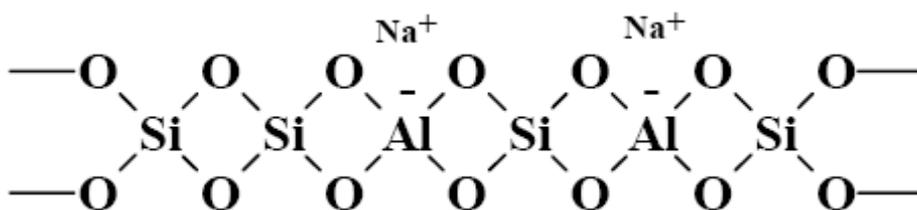
<sup>a</sup> Productos de desarrollo



**Fig. 6. Estructura esquemática de la kanemita.**

### C. Tectosilicatos (silicatos de tres dimensiones)/Aluminosilicatos de Sodio (Zeolitas).

El dióxido de silicio puro no es reactivo químicamente bajo condiciones de lavado y por consiguiente no se usa en las formulaciones de detergentes. Sin embargo, si se reemplaza parcialmente el silicio por aluminio, entonces, la estructura del silicato recibe una carga negativa que es compensada por cationes tales como los iones sodio (Fig. 7). Existen aluminosilicatos de sodio amorfos que tienen propiedades como builder [27]. Sin embargo, el material se cristaliza usualmente a aluminosilicatos de composición y estructura regulares. Estos iones sodio de los aluminosilicatos de sodio cristalinos (zeolitas) permanecen accesibles a reacciones de intercambio iónico y por consiguiente en posición de secuestrar la dureza del agua corriente.



**Fig. 7. Representación esquemática de la estructura de una zeolita.**

Las zeolitas (ver Fig. 7), especialmente la zeolita A, se han empleado ampliamente como builders en algunas regiones del mundo y surgieron como el sustituto preferente de los fosfatos. Las zeolitas se utilizan como intercambiadores iónicos para remover los iones calcio de la solución de lavado. Las zeolitas pueden también adsorber los surfactantes no-iónicos para mantener finalmente al detergente libre de grumos y con buena fluidez.

El requisito principal para emplear exitosamente una zeolita como builder es su capacidad de intercambio iónico con respecto al calcio y, si es posible, al magnesio. Las zeolitas suavizan el agua, pero no presentan alcalinidad y no pueden mantener el pH o evitar que la

mugre se redeposite en las prendas. De este modo, se considera necesario el empleo de otros materiales builders para obtener una detergencia óptima.

### 1. Zeolita A.



**Fig. 8. Estructura de la Zeolita A.**

En los 70's, la zeolita A se desarrolló como builder. Emergió como el aluminosilicato de sodio de preferencia para aplicaciones en detergentes. Tiene la fórmula  $\text{Na}_{12}(\text{AlO}_2)_{12}(\text{SiO}_2)_{12} \cdot 27\text{H}_2\text{O}$ . La zeolita A es virtualmente soluble en agua como todos los otros aluminosilicatos cristalinos. Este material tiene una estructura cristalina bien definida, conectada por ventanas que generan una estructura porosa altamente accesible. Debido a esto, los iones sodio contenidos en las celdas se consideran altamente removibles y pueden intercambiarse fácilmente por los iones responsables de la dureza del agua, especialmente los iones calcio [28].

Especialmente a temperaturas bajas, la zeolita A presenta un coeficiente de intercambio iónico reducido debido al pequeño tamaño de poro del tipo de zeolita. No obstante, el magnesio tiene dimensiones atómicas más pequeñas; por consiguiente, la zeolita A requiere del empleo de un co-builder que se haga cargo del magnesio de la dureza del agua

especialmente a temperaturas bajas [29]. La zeolita A puede minimizar el efecto de envejecimiento causado por la re-deposición de la suciedad durante ciclos repetidos de lavado. También, puede reducir el efecto de transmisión de colorantes a textiles no teñidos, incrementar la eficiencia de los agentes blanqueadores porque remueve los iones metálicos del agua y ayudar a la acción de los jabones de eliminar la espuma [28].

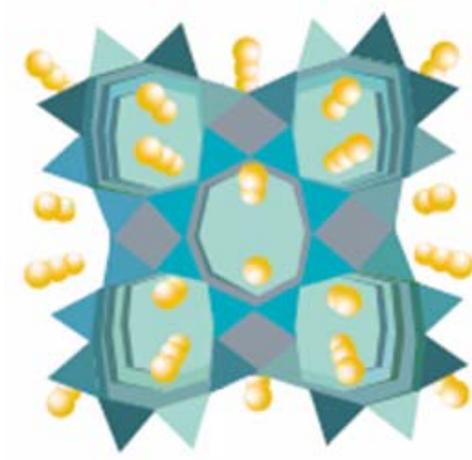
A pesar del buen desempeño como builder de la zeolita A, se debe mencionar que también cuenta con ciertas deficiencias. La primera, no es un buen portador de los componentes restantes de la formulación. La segunda, mientras se considera un builder eficiente a temperaturas medias y altas, es muchísimo más pobre su eficiencia a temperaturas bajas, en lavados breves, y con suciedad abundante [30].

## **2. Zeolita P/MAP.**

La zeolita P (Fig. 9) fue una de las zeolitas evaluadas por sus propiedades de intercambio iónico pretendiendo a ser un sustituto del fosfato. Sin embargo, los resultados fueron inferiores a los de la zeolita A y X [2].

Un descubrimiento reciente llamado zeolita MAP (máximo aluminio P) es un builder aluminosilicato que tiene la estructura de la zeolita P con una relación Si/Al aproximada de 1/1 [31]. El fabricante describe que la MAP exhibe una alta selectividad termodinámica intrínseca para el calcio sobre el sodio, reduciendo efectivamente la dureza del agua. Debido a la baja movilidad del agua en el interior de su estructura, MAP presenta un aumento significativo en la estabilidad de agentes blanqueadores reactivos en las formulaciones de detergentes [32,33]. Además, su capacidad de absorción de líquidos es 50% mayor que la de la típica zeolita A. Sin embargo, el proceso de producción de la zeolita MAP es más costoso que el proceso para la producción de zeolita A, y el coeficiente de intercambio de la zeolita

A está muy cerca del coeficiente de la zeolita MAP, para el caso de tamaños de partícula semejantes [34].



**Fig. 9. Estructura de la Zeolita P.**

### **3. Otras zeolitas.**

Otras zeolitas, como la zeolita X, la zeolita Y y la zeolita HS, se mencionan en patentes como posibles builders pero al parecer no son empleados en las formulaciones de detergentes. Recientemente se ofreció al mercado la zeolita X con un contenido mayor de aluminio. Aunque no se encontraron estudios de su utilización a la fecha.

### **4. Aspectos ecológicos concernientes a los aluminosilicatos.**

Existen muchos reportes acerca del impacto ambiental de los aluminosilicatos de sodio (zeolitas) y, generalmente, el resultado confirma su aceptación ambiental. No obstante, la

controversia alrededor de los fosfatos ha dejado en especulación lo concerniente al riesgo de la imposición de sustitutos de fosfatos, incluyendo a las zeolitas.

#### **D. Carbonatos/Carboxilatos.**

##### **1. Carbonatos inorgánicos.**

El carbonato de sodio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , es un builder barato. Forma carbonatos poco solubles con el calcio y el magnesio (precipitados). La tasa de agotamiento del calcio para el carbonato de sodio es baja comparada con la del STPP y aún comparada con la de la zeolita. Los carbonatos precipitados de los metales alcalinotérreos tienden a causar incrustaciones en las lavadoras y en las telas, pero, estas incrustaciones pueden minimizarse con la adición de policarboxilatos como agentes dispersantes.

No obstante, existen detergentes en el mercado de los E.U.A. con un contenido elevado de carbonato de sodio y sin fosfato y zeolita [35-38]. El carbonato de sodio se utiliza principalmente como un componente que proporciona alcalinidad en las formulaciones en polvo que contienen fosfato o zeolita. El incremento del pH contribuye a mejorar el desempeño de detergencia.

El carbonato de sodio se considera ambientalmente seguro. Sin embargo, el impacto de las aguas residuales del proceso de producción debe tomarse en consideración, especialmente el cloruro de calcio; pero también hay que considerar algunos compuestos de amonio y metales pesados. En lo que respecta a la seguridad del consumidor, debe tomarse en cuenta la elevada alcalinidad del carbonato de sodio.

Otros carbonatos de sodio son el bicarbonato de sodio,  $\text{NaHCO}_3$ , y el sesquicarbonato de sodio,  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3$ . El bicarbonato es menos alcalino que el carbonato de sodio y puede usarse para ajustar el pH de la formulación a niveles más bajos.

El carbonato de potasio,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ , se emplea en Japón en algunas formulaciones en polvo para incrementar la solubilidad a bajas temperaturas.

Los carbonatos de sodio y silicatos de sodio co-granulares se ofrecen en el mercado como materiales de uso fácil, impartiendo eficiencia al lavado por la reducción de la cantidad de detergente requerida para cada carga de ropa. Limitan a los componentes orgánicos causantes de una demanda biológica y química de oxígeno excesiva, la cual es perjudicial para los peces y las plantas acuáticas. Tanto el carbonato de sodio como el silicato de sodio se han empleado en detergentes en polvo, de manera individual o combinados.

El co-granulado tiene, por ejemplo, una composición de 55% carbonato de sodio, 29% de disilicato (amorfo) y 16% de agua. El co-granulado absorbe pequeñas cantidades de agua de la humedad del aire en comparación con el disilicato compacto o el metasilicato pentahidratado, resultando mejor para el almacenamiento.

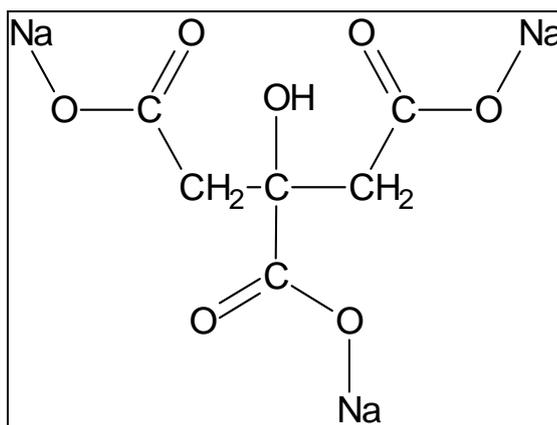
## **2. Carboxilatos orgánicos.**

(a) Carboxilatos monoméricos. Los jabones, por ejemplo las sales de sodio de los ácidos carboxílicos de cadena larga estaban entre los componentes antiguos de los detergentes. Estos pueden reducir la dureza del agua mediante la precipitación. Sin embargo, pueden causar el desarrollo de incrustaciones en las telas induciendo una coloración amarillenta en la ropa blanca. Los jabones se usan comúnmente en combinación con un agente fuerte que pueda agotar al calcio y al magnesio. Debido a que forman una especie de gel a temperaturas

bajas, los jabones se incorporan en cantidades limitadas a las formulaciones de detergentes en polvo, donde también sirven como controladores de la espuma para los surfactantes sintéticos cuando se usan en lavadoras. Los jabones se pueden degradar rápidamente en las plantas de tratamiento de aguas residuales, pero, al igual que otros materiales orgánicos, aumentan la demanda biológica de oxígeno.

(1) Ácidos hidroxicarboxílicos. Su uso es limitado debido a su alto costo y a su limitada funcionalidad como co-builders con zeolita. El citrato de sodio (Fig. 10), la sal trisódica del ácido cítrico, es un agente de enmascaramiento moderado para los iones calcio [6] y magnesio a una temperatura superior a los 60° C.

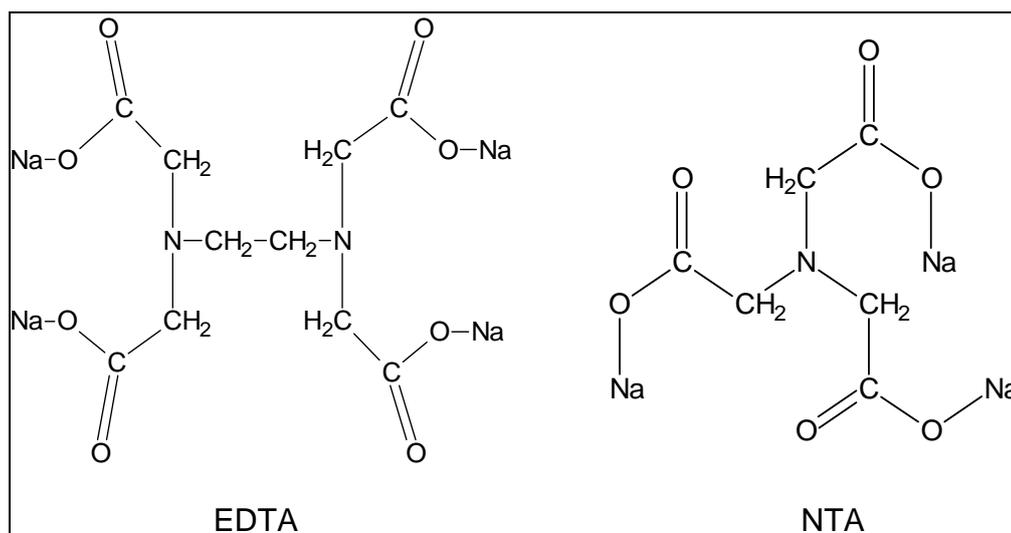
Debido a su estabilidad hidrolítica, el citrato de sodio se usa frecuentemente como un sustituto del STPP en detergentes líquidos, pero también se incorpora en algunas formulaciones en polvo para ayudar a la constitución, dispersión y solubilidad. Pese a sus desventajas, en la actualidad existen algunos detergentes en polvo en el mercado europeo que contienen citrato, la mayoría en combinación con zeolita.



**Fig. 10. Sal de sodio del ácido cítrico.**

(2) Ácidos aminocarboxílicos. La sal de sodio del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA; Fig. 11) secuestra fuertemente a los iones calcio y magnesio [6]. Además, minimiza el nivel de los iones de metales pesados en el detergente y en el agua de lavado, lo cual reduce la descomposición de los agentes blanqueadores. Sin embargo, el EDTA no es biodegradable y es costoso. Usualmente no se emplea en formulaciones de detergentes para el hogar.

El nitrilotriacetato de sodio (NTA) es un ligante fuerte de iones calcio y magnesio pero tiene una menor actividad suspensiva comparada con el STPP [6]. Aún cuando el NTA (ver Fig. 11) es biodegradable (95%), en plantas de tratamiento, se ha limitado su uso en algunos países tales como Canadá, Suiza y Holanda. Este builder, en combinación con la zeolita A, apareció brevemente en algunos productos libres de fosfato.

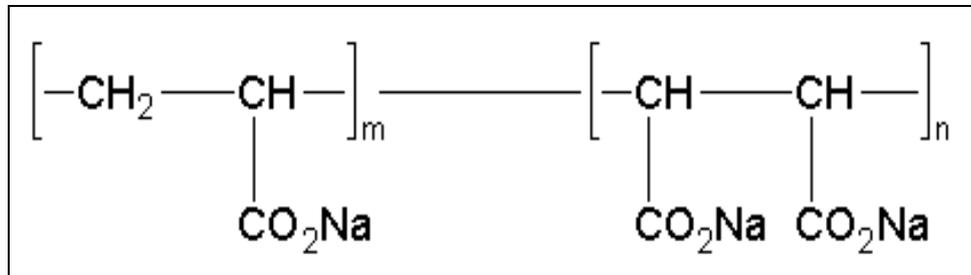


**Fig. 11. Sal de sodio del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y nitrilotriacetato de sodio (NTA).**

(b) Carboxilatos poliméricos. En principio, incrementando el número de grupos carboxílicos por molécula se aumenta la capacidad de secuestro del calcio. Por consiguiente, las sales de sodio de los ácidos poliacrílicos y polimaléicos exhiben buenas propiedades de ablandamiento de agua; pero son muy costosos para ser empleados en altas concentraciones como builders y son poco biodegradables.

En la actualidad, los policarboxilatos se emplean principalmente debido a sus propiedades de dispersión de partículas de suciedad y precipitados, también como inhibidores de la formación de cristales para minimizar incrustaciones de  $\text{CaCO}_3$  u otras sales inorgánicas parcialmente solubles.

Los copolímeros de ácido acrílico y maléico (Fig. 12) con un peso molecular de 60,000-70,000 se escogen comúnmente para detergentes basados en zeolita A/carbonato de sodio, especialmente bajo condiciones de agua dura, debido a que reducen el envejecimiento y la incrustación en las telas. Debido a su costo y a ciertas consideraciones ambientales, se manejan en la formulación de detergentes en porcentajes usualmente bajos. Los agentes de enmascaramiento orgánicos presentan la desventaja de incrementar la demanda biológica de oxígeno y la habilidad potencial para re-movilizar metales pesados.



**Fig. 12. Sal de sodio del copolímero ácido acrílico/maléico.**

### **E. Borato/Perborato.**

El borato y especialmente el perborato han sido empleados en detergentes de lavado en diversos países por muchos años. El perborato ( $\text{NaBO}_3$ ) se usa como agente blanqueador y como fuente de borato y peróxido de hidrógeno.

El borato de sodio o bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) amortigua el pH a un nivel aproximado de 9 (bórax 0.025M a 40° C), presenta propiedades débiles para secuestrar iones calcio y estabiliza el pigmento de la suciedad [39]. El bórax también puede inhibir la precipitación de surfactantes aniónicos en las soluciones que contienen calcio [40].

### **3. COMBINACIONES DE BUILDERS**

No existe un builder perfecto, se emplea comúnmente una mezcla de ellos en las formulaciones de detergentes en polvo. Algunas patentes recientes o sus aplicaciones, muestran que la combinación de dos ó más builders en la formulación de detergentes ofrece efectos especiales. Algunos ejemplos se resumen a continuación.

#### **A. Zeolitas y silicatos de sodio (estratificados).**

Un sistema de zeolita, silicato estratificado y citrato permite una reducción significativa en la dosificación de detergente por lavado. Se encontró una relación óptima entre aluminosilicato, silicato estratificado y citrato/ácido cítrico de aproximadamente 3.5:1:1 a 4.5:1:1 [41].

Un builder que contiene una mezcla de zeolitas, silicatos estratificados y policarboxilatos poliméricos no requiere fosfonatos [42].

Los detergentes con builders que contienen combinaciones de zeolita con silicatos de sodio, tanto amorfos como disilicatos estratificados, y que están libres de carbonatos alcalinos,

fosfonatos y policarboxilatos poliméricos, exhiben una detergencia no menor que la de los detergentes comerciales que contienen grandes cantidades de fosfonatos, policarboxilatos y carbonatos alcalinos [43].

Los granulados de aluminosilicatos de sodio y silicatos estratificados se desintegran fácilmente en sus partículas primarias en el agua [44].

Una formulación que consiste en bentonita, disilicato cristalino y zeolita, imparte suavidad a las prendas [45].

#### **B. Zeolitas y compuestos orgánicos.**

Una composición de builders que contiene zeolita MAP y un copolímero de ácido acrílico-maléico, presenta un desempeño de detergencia superior comparado con composiciones que contienen zeolita A y polímeros [46].

Se ha discutido el empleo de mezclas pre-combinadas de zeolitas con amino-óxidos como builders convenientes para detergentes [47].

Algunos derivados de carbohidratos, tales como los alcoholes de azúcar, se usan como co-builders con zeolita y perborato [48].

Se ha descrito que algunas combinaciones que consisten en surfactantes aniónicos y zeolitas y/o silicato estratificado, y algún otro ingrediente opcional; han mejorado las propiedades de distribución [49].

Para resolver el problema de densidad e higroscopicidad de los polímeros, se inventó un concepto nuevo de polímeros. Estos materiales pueden liberar de 30-40% de polímero activo sobre un gránulo inorgánico portador, por ejemplo, zeolita o carbonato [50].

Ocurre una menor incrustación si la formulación de detergente contiene al menos dos gránulos que contengan policarboxilatos [51].

### **C. Silicatos de sodio estratificados y compuestos orgánicos.**

Los silicatos estratificados cargados con aminas terciarias o compuestos con sales de amonio cuaternarias cuentan con propiedades para suavizar las telas y adsorber aceites [52-55].

Se ha descrito que en composiciones particulares, las combinaciones de silicatos estratificados alcalinos y agentes acidificantes como el ácido cítrico reducen el daño a la coloración en telas sensibles a los blanqueadores [56].

Las composiciones de surfactantes aniónicos y silicatos estratificados no dejan sobrantes sobre las telas después del lavado a temperaturas bajas [57].

Los copolímeros de injerto preparados a partir del ácido maléico, ácido acrílico y maltroxina, pueden ser usados con  $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$  como builders en detergentes [58].

#### **D. Builders y sistemas de blanqueado.**

La zeolita MAP presenta un efecto benéfico sobre la estabilidad del percarbonato de sodio [59]. Los silicatos estratificados se usan en compuestos granulares blanqueadores para lavado.

Las composiciones de detergentes blanqueadores que contienen como builder silicato estratificado y percarbonato, se estabilizan empleando el ácido etilendiamino-N,N'-disuccínico [60].

Las partículas blanqueadoras y los ablandadores de agua se pueden agregar a la formulación básica de detergente diseñada para prendas normalmente sucias [61].

#### **4. CAMBIO DE EXIGENCIAS**

El mercado de los detergentes en polvo se encuentra en un estado de fluctuación. La introducción de nuevas materias primas y tecnologías genera nuevas posibilidades, pero, también los fabricantes de detergentes deben responder al cambio de exigencias de la sociedad y los consumidores.

El coeficiente costo/desempeño es esencial para la aceptación de materias primas empleadas en los detergentes y especialmente para materias que implican alto volumen, tales como los builders. En la actualidad, la compatibilidad ecológica es el tercer, y algunas veces, el factor dominante en la valoración de un ingrediente para el detergente.

## **A. Ecología.**

La simpatía con el ambiente y la seguridad toxicológica son criterios esenciales para la aceptación de un builder. Algunos investigadores analizan en sus publicaciones dichos criterios y plasman datos de algunos materiales. Los nuevos productos se examinan cuidadosamente y los builders tradicionales pueden ser reevaluados.

### **1. Análisis del ciclo de vida [62].**

En un análisis reciente del ciclo de vida, se comparó el impacto ambiental de los sistemas de builders libres de fosfatos con el del STPP. El reporte concluye que los detergentes que contienen fosfatos no son más dañinos que los polvos libres de fosfatos basados en zeolita/policarboxilatos. Se calculó el puntaje del impacto ambiental por 1kg de cada material builder. El STPP obtuvo 107 puntos de penalización y la mezcla zeolita-PCA 110. Acorde con lo reportado, existe mayor capacidad para reducir la contaminación causada por los detergentes fosfatados mediante su extracción vía fluvial y reciclaje, mientras que no se conoce ningún método para reciclar zeolitas.

## **2. Solubilidad [62].**

En la antigüedad, todas las materias primas empleadas en la formulación de detergentes eran solubles. En la actualidad, las zeolitas y los silicatos arcillosos son los únicos componentes que permanecen insolubles aún en el agua de desecho. El perfil ambientalmente compatible de la zeolita A se certificó en varias investigaciones. Sin embargo, existen algunas en las que se prefieren los builders solubles para minimizar los lodos en las aguas residuales y prevenir algo de depósitos en el agua de lavado. En la actualidad, algunos fabricantes de builders insisten en que sus productos solubles están diseñados para salvaguardar de modo más eficaz el ambiente y que los builders no dejan residuos en las plantas de tratamiento de agua.

## **3. Consumo de energía y conservación del agua [62].**

El consumo de energía es una cuestión clave que afecta el futuro de nuestro planeta. En términos de lavandería, una opción es reducir la temperatura de la solución de lavado; otra, es disminuir el consumo de agua caliente.

En Europa, la temperatura de lavado común ya está significativamente por debajo de la que se empleaba hace 10 años. Tendencias similares están surgiendo en E.U.A.

Como se mencionó con anterioridad, otra opción para ahorrar energía es reducir la cantidad de agua caliente por lavado. Actualmente, la conservación del agua es materia de discusión, razón por la cual existen algunos programas para diseñar lavadoras que consuman significativamente menos agua. La concentración de builder será mayor debido a que se usará menor cantidad de agua, lo que causará nuevas exigencias para su optimización.

#### **4. Dosis empleada de detergente [62].**

Los progresos más significativos en cuanto a impacto ambiental pueden alcanzarse enfocándose en la estrategia de usar el mínimo de todos los componentes de un detergente, incluyendo por supuesto a los builders.

Los detergentes modernos del tipo compacto usualmente tienen una elevada concentración de componentes activos. Aquellos complementos, como el sulfato de sodio o el contenido de agua se redujeron, resultando en un consumo menor de detergente por ciclo de lavado.

Mientras que los productos que contienen STPP requieren concentraciones mínimas de dicho compuesto para secuestrar al calcio y magnesio presentes en solución y prevenir la precipitación indeseable de fosfatos de calcio y magnesio; las formulaciones libres de fosfato que contienen zeolita y co-builders de policarboxilatos son menos sensibles para reducir la dosificación. Por consiguiente, la dosis recomendada de detergentes libres de fosfatos depende más del grado de suciedad que de la dureza del agua.

En 1994, se lanzó en Europa una generación nueva de detergentes compactos con ingredientes altamente activos y multifuncionales. Estas formulaciones permitieron una reducción adicional en la dosis, la cual involucra un consumo químico menor por lavado y una mejor conservación del ambiente. En Japón, continua la reducción en la dosis empleada de detergente.

## **B. Costo.**

El término “builder” será ampliamente usado en las secciones siguientes y hará referencia a los silicatos amorfos, al carbonato de sodio, al sulfato de sodio, al agua, etc.

Los builders se emplean frecuentemente en las formulaciones de detergentes en niveles significativos pero nunca se clasifican como surfactantes ni tampoco como sistemas blanqueadores.

Para un fabricante de detergentes el costo de usar un builder específico depende en primera instancia de su precio de venta. En orden ascendente, el nivel del precio de algunos materiales empleados como builders se estima aproximadamente como sigue: agua < carbonatos < sulfato de sodio < silicatos de sodio en solución < zeolita A < silicato de sodio amorfo < zeolita MAP < STPP <  $\delta$ -disilicato < carboxilatos. No obstante, el precio de venta es sólo parte del costo total. Los costos de manufactura, incluyendo la energía, deben considerarse, así como los costos de envasado y transporte [62].

Los creadores de detergentes requieren de cierta flexibilidad al usar distintas materias primas, de modo que ellos puedan comprar el builder más económico en un determinado tiempo. Esto es válido especialmente para formulaciones estándar de detergentes con buena aceptación en el mercado.

Sin embargo, algunos productores optan por apartarse de sus competidores ofreciendo detergentes superiores y asegurando su posición principal. Ellos realizan su propio trabajo de investigación, desarrollando sus materias primas o cooperando con los

proveedores; si quieren asegurar la protección de sus patentes y/o convenios exclusivos con sus proveedores, entonces, se evita la disponibilidad para otros.

No obstante, esto puede ser ventajoso; un productor puede emplear un builder más costoso pero también más efectivo, de modo que su coeficiente costo/desempeño sea satisfactorio. Los consumidores reconocen un desempeño de detergencia superior, y por consiguiente, una calidad superior se diferencia en el mercado, lo que incrementan las acciones mercantiles.

### **C. Desempeño de detergencia.**

Antes que todo, el desempeño de un builder se refiere al ablandamiento del agua, a la alcalinidad y así sucesivamente, pero finalmente hace referencia al perfeccionamiento en el desempeño de detergencia. Lo anterior involucra la contribución de distintas formas que ejercen los builders a las formulaciones confiriéndoles mejores propiedades de limpieza. Comúnmente, este aspecto se evalúa determinando el incremento de la reflectancia de estándares de telas manchadas y, finalmente, en pruebas de consumo. Particularmente en regiones de aguas duras, es de suma importancia considerar la incrustación de partículas inorgánicas en los tejidos debido a que provocan el envejecimiento y un efecto áspero que hace que las prendas sean menos cómodas. Además de estos aspectos de desempeño tradicionales e importantes para el caso de un builder, existen nuevas demandas que deben tomarse en cuenta aún si se tratara de los detergentes en polvo superconcentrados más avanzados.

## **1. Propiedades de distribución [62].**

Si los detergentes no se distribuyen completamente, éstos dejan alguna porción del polvo en el dispensador, la cual puede originar obstrucción y, como no todo el polvo estaría disponible para el lavado, se reduciría el desempeño de detergencia.

En adición a los progresos mecánicos nuevos para dispensar al detergente tan plenamente como sea posible, o para emplear un dispositivo dispensador que libere al producto directamente dentro del tambor de la lavadora, la optimización de la formulación del detergente debe llevarse a cabo para prevenir problemas de distribución. Respecto a lo anterior, es de suma importancia considerar al sistema de builders usado; por ejemplo, se ha descrito que las formulaciones que contienen carbonato de sodio y en particular ácido cítrico han mejorado las propiedades de distribución.

## **2. Cuidado de la tela [62].**

El contenido de iones de metales pesados en las telas podría estar directamente correlacionado con la pérdida de resistencia a la tensión. Una de las labores de los builders debe ser la de minimizar los depósitos de iones de metales pesados en las fibras.

Los sistemas de builders ternarios basados en zeolita A, silicatos estratificados y citrato exhiben un buen control de iones de metales pesados, aún en el caso de niveles reducidos significativamente o de builders auxiliares de policarboxilatos poliméricos.

### **3. Estabilidad al blanqueo [62].**

El perborato de sodio en su forma mono o tetrahidratada ha sido empleado como agente blanqueador en detergentes en polvo. Sin embargo, lo concerniente al impacto ambiental de las sales de boro ha incrementado el interés en el percarbonato de sodio como un agente blanqueador alternativo. Además del aspecto ecológico, el percarbonato ofrece mejor solubilidad a temperaturas bajas y la liberación de carbonato de sodio después del blanqueo, lo cual contribuye también al desempeño del lavado. De este modo, el percarbonato contribuye a una concentración nueva de detergentes en polvo, debido a que se necesitaría menor cantidad de carbonato de sodio, y entonces se reduciría la cantidad total de detergente por lavado.

El percarbonato de sodio es relativamente inestable en solución y en almacén. Para perfeccionar su estabilidad de almacenamiento, el percarbonato puede revestirse con compuestos de boro, carbonatos u otros materiales protectores. Para prevenir la descomposición radical no controlada en solución, la mayoría de los percarbonatos de sodio comercialmente disponibles contienen una pequeña cantidad de ligantes de metales pesados tales como el EDTA o los fosfonatos. Para poder utilizar el percarbonato en detergentes en polvo, se debe minimizar el contenido de humedad de la formulación y emplear componentes anhidros.

Los silicatos estratificados como el  $\delta$ -disilicato contribuyen benéficamente a la estabilidad de almacenamiento del percarbonato en composiciones granulares de blanqueo; debido a que el  $\delta$ -disilicato es anhidro y presenta la capacidad de ligar metales pesados.

### **III. OBJETIVOS**

- Realizar una propuesta de desarrollo de mezclas de builders para detergentes de lavandería sólidos del tipo convencional implicando un diseño experimental.
- Implementar y desarrollar técnicas de pruebas de laboratorio para la evaluación de mezclas de builders para detergentes de lavandería sólidos del tipo convencional.
- Seleccionar proveedores de materiales y equipo necesarios para el desarrollo del proyecto inexistentes en el laboratorio de trabajo.

#### **IV. DESCRIPCIÓN DEL DESEMPEÑO PROFESIONAL**

En el presente trabajo se muestra el registro de mi desempeño como trabajador en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico S.A. de C.V. (CID) durante el periodo comprendido del 1° de octubre de 2007 al 31 de marzo de 2008. Dicha empresa se encuentra ubicada en el Parque Industrial Lerma, Estado de México. Durante esos seis meses, desempeñé el puesto de Ingeniero en Investigación en el departamento de Investigación y Desarrollo; teniendo como actividades principales la investigación y recopilación bibliográfica.

Como trabajador del CID, me involucré en una etapa del proyecto denominado “Builders”; el cual estaba a cargo del Investigador Titular, M. en C. Rosa María Corona Flores. Dicha etapa, tenía como finalidad realizar una propuesta de desarrollo de mezclas de builders para detergentes sólidos de lavandería e implementar y desarrollar técnicas de pruebas de laboratorio para la evaluación posterior de dichas mezclas.

Para finiquitar tal propósito, primeramente, realicé una investigación exhaustiva acerca del tema principal (“Builders”) y recopilé la información necesaria para realizar la propuesta de mezclas de builders.

Por último, analizando toda la información y considerando las funciones con las que debe cumplir un builder como componente en la formulación de un detergente; determiné las técnicas para la evaluación de dichas mezclas de builders propuestas. Además, seleccioné algunos proveedores de materiales y equipo con los que no se contaban en el laboratorio de trabajo; los cuales eran imprescindibles para continuar con las etapas posteriores del proyecto.

## V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presenta el análisis y discusión de la información trascendental de las distintas fuentes consultadas que se recabó a lo largo de la evolución de esta etapa del proyecto en la que me involucré como trabajador.

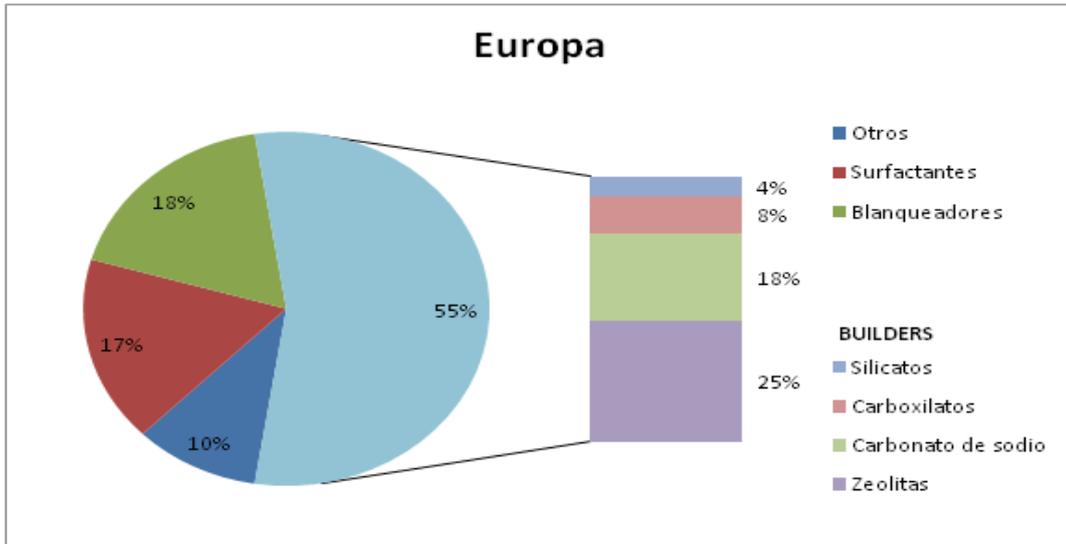
### 1. INFORMACIÓN GENERAL DE BUILDERS RECABADA DE LIBROS

A continuación se presentan algunos datos, así como tablas y gráficos interesantes que se recabaron de algunos libros con los que se contaba para auxiliar a la realización del proyecto.

- Del libro *Powdered Detergents* [62]

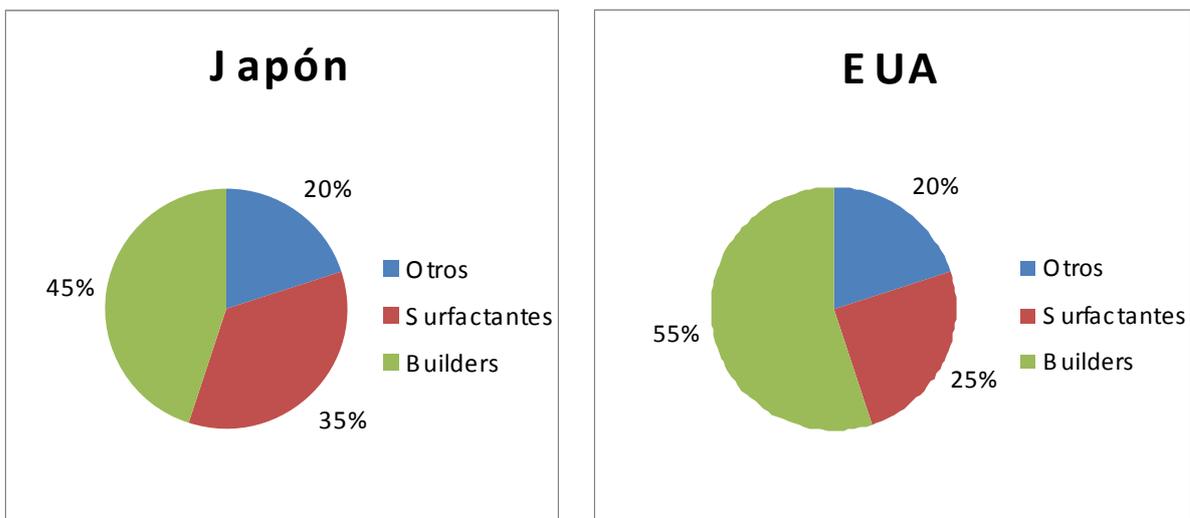
Los gráficos que se muestran enseguida ilustran que los builders son los componentes principales de las formulaciones de detergentes de tipo compacto (sólidos), típicas en algunas regiones de importancia mundial.

En la Fig. 13 se presenta la composición típica de un detergente sólido comúnmente encontrado en Europa. Cabe destacar que el 55% de dicha formulación lo representan builders tales como las zeolitas y el carbonato de sodio (en mayor proporción), y los carboxilatos y silicatos (en menor proporción).



**Fig. 13. Formulación de detergente del tipo compacto típica en Europa.**

En la Fig. 14 se observa claramente que, como se mencionó con anterioridad, los builders son los componentes principales de las composiciones de detergentes sólidos comúnmente encontrados en Japón y EUA.



**Fig. 14. Formulaciones de detergentes sólidos típicas.**

A continuación se presentan algunas tablas con información relevante acerca del desarrollo o evolución de las formulaciones de detergentes en determinadas regiones de importancia mundial.

**Tabla 3. Evolución de las formulaciones de detergentes europeos.**

<i>Componente (%)</i>	<i>1907</i>	<i>1953</i>	<i>1970</i>	<i>1983</i>	<i>1987</i>
Jabón	32.0	44.0	3.5	3.0	1.5
LAS*	-	-	6.5	8.0	7.0
No-iónicos	-	-	2.5	3.0	5.0
Pirofosfato	-	10.0	-	-	-
Tripolifosfato	-	-	40.0	24.0	- <sup>a</sup>
Zeolita A	-	-	-	18.0	25.0 <sup>b</sup>
Policarboxilatos	-	-	-	1.0	4.0
Carbonato de sodio	24.0	12.0	-	-	10.0
Silicato de sodio	3.0	7.0	3.0	4.5	3.5
Perborato•4H <sub>2</sub> O	9.0	6.0	27.0	22.0	20.0
Activador (EDTA)	-	-	-	1.5	2.0
Sulfato	-	3.5	4.0	4.0	10.0
Agua	≈30	≈15	≈9	≈9	≈10

\* Linear alkylbenzen sulfonate (alquilbencen sulfonato lineal)

<sup>a</sup> Una cantidad significativa de formulaciones de detergentes europeos continuaron con fosfatos

<sup>b</sup> En el caso de formulaciones libres de fosfatos

Como se observa en los datos de la Tabla 3, el porcentaje de jabón presente en las formulaciones de detergentes europeos fue decreciendo en los últimos años. A partir de 1970, se emplearon en la formulación algunos surfactantes y tripolifosfato de sodio (STPP), aunque ha disminuido el porcentaje de dicho builder. Cabe destacar la reaparición del carbonato de sodio en formulaciones recientes, así como el empleo de policarboxilatos a partir de 1983. Por otra parte, el silicato de sodio se ha mantenido en bajas concentraciones.

**Tabla 4. Formulaciones de detergentes en polvo de alto rendimiento (1994).**

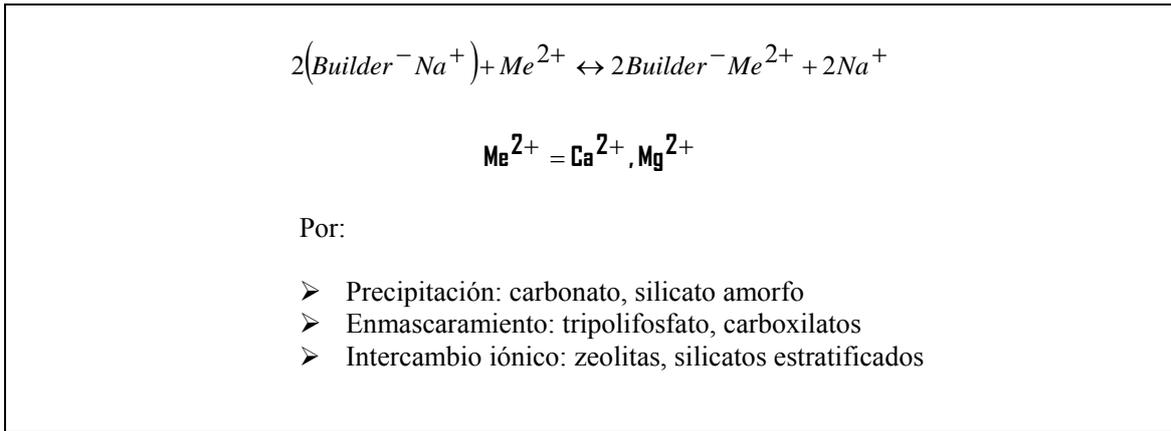
Componente (%)		EUA		Europa		Japón	
		Convencional	Compacto	Convencional	Compacto	Compacto	
Surfactantes	Aniónicos	18-20	18-22	10-12	10-15	10-15	20-30 / 0
	No-iónicos	0-3	0-10	0-3	0-5	2-8	5-10 / 20
Builders	STPP	-	-	20-25	0	0	-
	Zeolita	20-30	25-40	0	25	25-40	15-20 / 45
	Citrato	0-3	0-3	-	0-3	0-4	0-5
	Policarboxilatos	0-3	0-4	0	4	5	0-3
	Carbonato de sodio	8-12	10-30	5	15	15-20	5-30
	Silicatos de sodio amorfos	1-3	1-9	6	4	5-20	3-15
Sistema de blanqueo	Perborato	-	5-10	14	18	13	0-3
	Activador <sup>a</sup>	-	≈4(N)	0-2 (T)	2.5(T)	3-7 (T)	-
Complemento	Sulfato	20-25	5-20	20-25	9	1-5	1-3
Agua		5-10	5-10	10	5	7-15	5-10

<sup>a</sup> T (tetraacetiletilendiamina); N (nonanoiloxibencensulfonato)

Si analizamos la Tabla 4, encontramos que los surfactantes aniónicos se encuentran en proporciones considerables en todas las formulaciones. Cabe destacar la presencia del citrato de sodio en la mayoría de las formulaciones. El carbonato de sodio y los silicatos de sodio amorfos se encuentran en porcentajes intermedios en todas las formulaciones de detergentes en polvo.

La información que se presenta enseguida (Tablas 5 y 6) incluye algunas de las características de determinados builders que se necesitan considerar para facilitar la selección de alguno de ellos como componente en la formulación de un detergente.

Como se mencionó anteriormente, el principal requerimiento para elegir un builder exitosamente, es la capacidad de secuestrar o intercambiar iones con respecto a los iones calcio y magnesio. Para optimizar el desempeño de detergencia es necesario remover casi por completo dichos iones (Fig. 15).



**Fig. 15. Desactivación de los iones causantes de la dureza del agua.**

**Tabla 5. Características positivas (+) y negativas (-) de algunos builders.**

<i>Builder</i>	+	-
<b>Tripolifosfato de sodio</b>	Ligante de $\text{Ca}^{2+}$ y $\text{Mg}^{2+}$ Poder dispersante	Eutrofización
<b>Silicatos de sodio amorfos</b>	Alcalinidad/amortiguamiento Anticorrosión (Secuestro de $\text{Mg}^{2+}$ )	Precipitación del calcio
<b><math>\delta</math>-disilicato de sodio</b>	Intercambio iónico de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ Alcalinidad/amortiguamiento Anticorrosión Compatibilidad con el percarbonato Capacidad de absorción de líquidos Compresión (multifuncionalidad)	No puede emplearse en procesos en torre de secado
<b>Zeolita A</b>	Intercambio iónico de $\text{Ca}^{2+}$ Bastante económico Ayuda de procesamiento	Bajo efecto sobre el $\text{Mg}^{2+}$ Insoluble
<b>Zeolita MAP</b>	Intercambio iónico de $\text{Ca}^{2+}$ Capacidad de absorción de líquidos Compatibilidad con el percarbonato Ayuda de procesamiento	Bajo efecto sobre el $\text{Mg}^{2+}$ Insoluble
<b>Carbonato de sodio</b>	Económico Alcalinidad/amortiguamiento	Precipitación de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$
<b>Citrato de sodio</b>	Ligante de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$	No por encima de 60° C Bastante costoso No biodegradable
<b>Policarboxilatos de sodio (copolímeros de ácido maléico-acrílico)</b>	Poder dispersante Anti-redeposición	

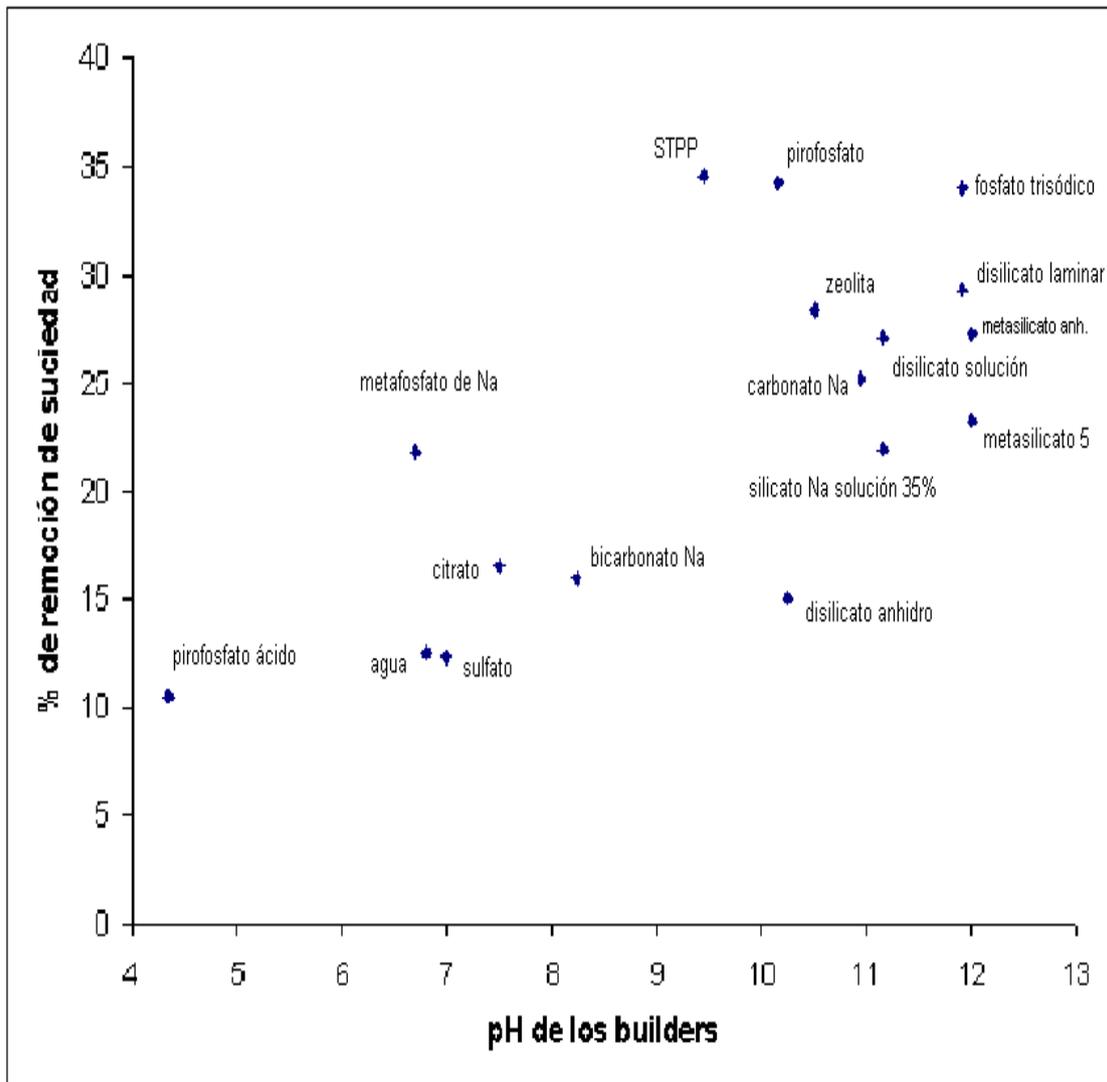
**Tabla 6. En la búsqueda del builder ideal (Combinación)\*.**

<b>Propiedades</b>	<b>Builder Ideal</b>
<i>Ablandamiento del agua</i>	STPP, Citrato
<i>Calcio</i>	STPP
<i>Magnesio</i>	STPP
<i>Alcalinidad/amortiguamiento</i>	Amorfos/ $\delta$ -disilicato
<i>Dispersar</i>	Polímeros
<i>Estabilidad de agentes blanqueadores</i>	$\delta$ -Disilicato
<i>Anticorrosión</i>	Amorfos/ $\delta$ -disilicato
<i>Capacidad de absorción líquidos</i>	$\delta$ -Disilicato, Zeolita P
<i>Compresión</i>	$\delta$ -Disilicato
<i>Procesamiento</i>	Zeolita A/P, $\delta$ -Disilicato
<i>Seguridad al cliente</i>	Citrato
<i>Biodegradabilidad</i>	Inorgánicos
<i>Eutrofización</i>	Carbonato
<i>Solubilidad</i>	Citrato
<i>Disponibilidad</i>	Carbonato, Zeolita A
<i>Costo</i>	Carbonato, Zeolita A

\* La tabla que se presenta es un resumen de la tabla encontrada en la referencia.

- Del libro *Handbook of Detergents* [63]

Los siguientes gráficos muestran los resultados de la realización de algunas pruebas de detergencia de los builders más empleados para formulaciones de detergentes.

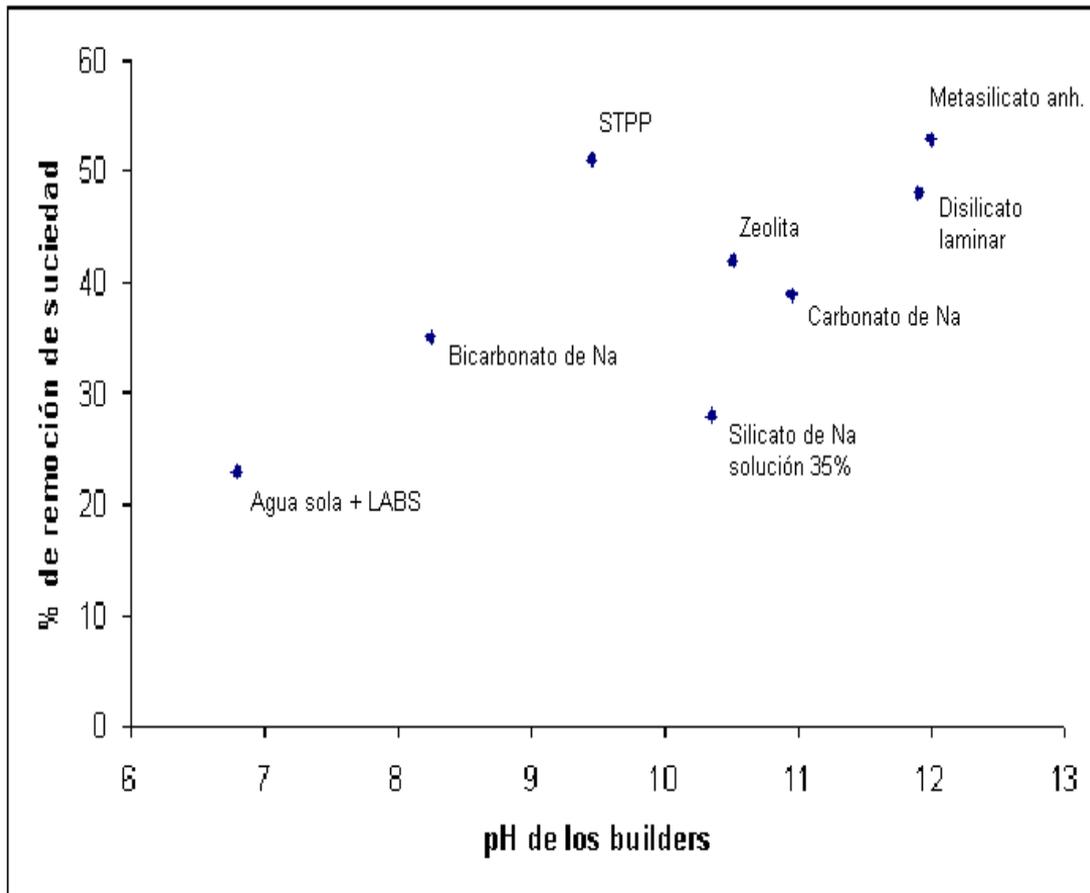


**Fig. 16. Pruebas de detergencia de builders solos (sin adición de surfactantes).**

En la Fig. 16, destaca el desempeño de detergencia de los fosfatos, siendo mayor el porcentaje de remoción de suciedad para el caso del STPP. Por otra parte, destaca el desempeño del metasilicato de sodio anhidro, del carbonato de sodio y de la solución de silicato de sodio al 35% a valores de pH más alcalinos.

Algunos de los builders presentados en el gráfico anterior, fueron evaluados en asociación con un surfactante iónico (alquil bencen sulfonato de sodio lineal C12,

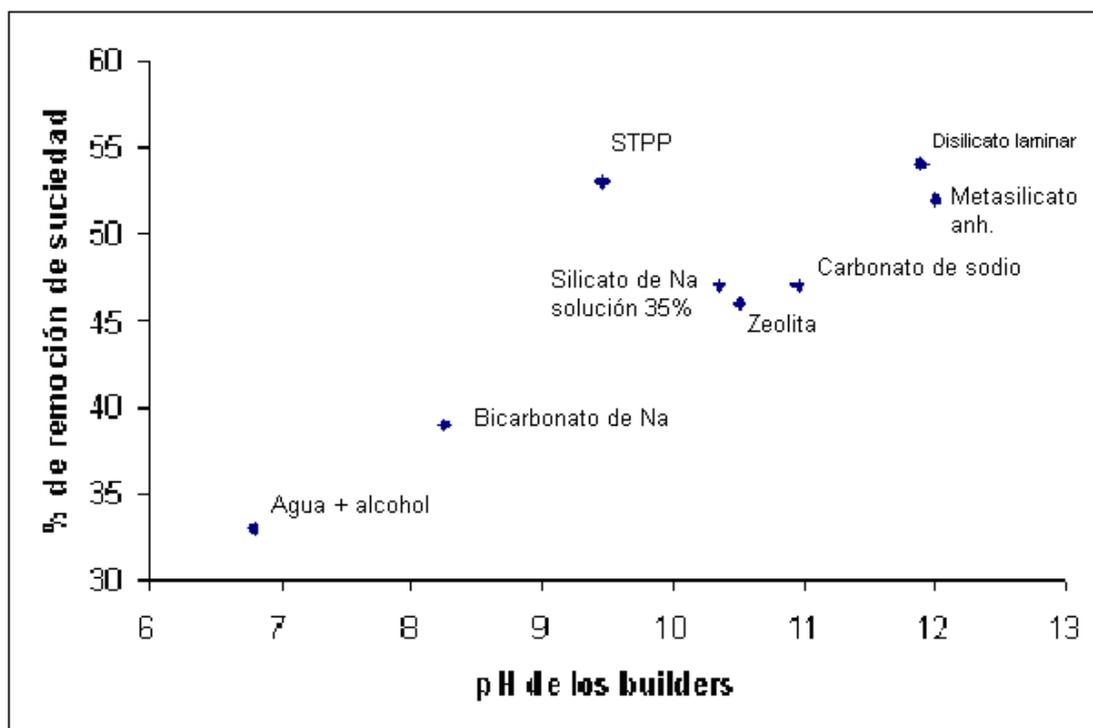
LABS) o un surfactante no iónico (alcohol lineal C12-C14 con aproximadamente 7 moles de óxido de etileno 7OE) (Figs. 17 y 18).



**Fig. 17. Pruebas de detergencia combinando builders con el LABS.**

Como se observa en la Fig. 17, el metasilicato de sodio anhidro (combinado con el LABS) presenta el porcentaje de remoción de suciedad más elevado y un valor de pH más alcalino. Por otra parte, destaca el desempeño del STPP y el aumento en el desempeño de detergencia del carbonato de sodio.

En la Fig. 18, el disilicato presenta el mejor desempeño. Destacan también los porcentajes de remoción de suciedad del STPP, el metasilicato de sodio anhidro, la solución de silicato de sodio al 35% y el carbonato de sodio.



**Fig. 18. Pruebas de detergencia combinando builders con un alcohol etoxilado.**

## 2. REVISIÓN DE PATENTES DE BUILDERS

En coordinación con el investigador titular del proyecto se realizó una revisión de patentes relacionadas con el empleo de builders en distintas formulaciones de detergentes. Se revisaron en total 54 patentes, de las cuales 24 patentes se desarrollaron en el periodo comprendido entre 1990-1999 y 30 patentes entre los años 2000-2006.

A continuación se presenta un listado de las compañías para las cuales se desarrollaron tales proyectos de investigación que condujeron a la realización de dichas patentes, haciendo hincapié en el número de patentes pertenecientes a cada compañía (Tabla 7).

**Tabla 7. Patentes de builders revisadas de 1990 – 2006.**

<b>Compañía</b>	<b>Número de patentes</b>
Procter & Gamble	13
Henkel	10
Unilever Home	5
Church & Dwight Co.	5
Clariant GMBH	4
BASF	2
Kao Corporation	2
Quest International B.V.	2
Huish Detergents, Inc.	2
ARCO Chemical Tech. L.P.	1
Lever Brother Company	1
Dowbrands	1
Rohm and Hass	1
National Starch and Chem. Co.	1
Nippon Shokubai	1
Rhone- Poulenc Chemie	1
Amway Corporation	1
Cognis Deutschland	1

Como se observa en los datos de la Tabla 7; las compañías que poseen la mayor cantidad de patentes de builders en el periodo comprendido entre los años 1990 y 2006 son Procter & Gamble (P&G) y Henkel. Destacan también Unilever Home, Church & Dwight Co., y Clariant GmbH.

De las patentes revisadas se recopilieron algunos datos de interés contenidos en las siguientes tablas. En ellas se indican los builders que se emplearon en cada proyecto así como el uso que se propone para cada una de las formulaciones planteadas en cada patente.

**Tabla 8. Patentes de builders de 1990 – 1996.**

<b>No. de Patente</b>	<b>Fecha de la Patente</b>	<b>Compañía</b>	<b>Builders empleados</b>	<b>Usos</b>
4.946.627	07-Ago-90	National Starch and Chem. Co	Policarboxilatos	Detergentes de lavandería
5.279.756	18-Ene-94	Church & Dwight Co.	Carbonato / Bicarbonato / Ácido carboxílico / Polímero acrílico	Detergente para máquina lavavajillas
5.302.310	12-Abr-94	Lever Brother Company	Carbonato de sodio / silicato de sodio	Detergentes en polvo y líquidos
5.331.100	19-Jul-94	Dowbrands	Carboxilatos	Detergentes de lavandería
5.376.300	27-Dic-94	Church & Dwight Co.	Carbonato de sodio / STPP / Poliacrilato	Detergente en polvo para lavandería
5.419.853	30-May-95	Procter & Gamble	Carboxilato / Ácido cítrico	Detergente líquido
5.378.388	03-Jun-95	Procter & Gamble	Zeolitas / Silicatos de sodio / Citrato de sodio	Detergente en polvo granular
5.476.608	19-Dic-95	Procter & Gamble	Ácido cítrico	Detergentes líquidos de lavandería
5.482.647	09-Ene-96	Church & Dwight Co.	Carbonato de Na o K / Terpolímero de ácido acrílico, ácido maléico y acrilamida	Detergente en polvo para lavandería
5.501.814	26-Mar-96	Henkel	Zeolitas	Detergente de lavandería
5.538.617	23-Jul-96	Procter & Gamble	Zeolitas / Ácido poli-aspartárico	Detergente de lavandería
5.574.004	12-Nov-96	Church & Dwight Co.	Carbonato de sodio / policarboxilatos / Polímero de ácido acrílico	Detergentes para lavandería

Si analizamos la Tabla 8, encontramos que las principales combinaciones de builders empleadas en detergentes de lavandería en polvo son: carbonato de sodio/silicato de sodio; carbonato/STPP/poliacrilato; zeolitas/silicato/citrato; y carbonato alcalino (Na o K)/poliacrilatos.

**Tabla 9. Patentes de builders de 1997 – 1999.**

<b>No. de Patente</b>	<b>Fecha de la Patente</b>	<b>Compañía</b>	<b>Builders empleados</b>	<b>Usos</b>
5.595.681	21-Ene-97	Procter & Gamble	Poli-aminoácidos / Glicoles poli-alquílicos	Detergentes líquidos para lavandería
5.638.872	19-Ago-97	Rohm and Hass	Zeolitas / Poli-aminoácidos	Detergentes de lavandería
5.731.279	24-Mar-98	Procter & Gamble	Materiales cristalinos	Detergentes de lavandería
5.750.483	12-May-98	BASF	Carbonato/ Silicatos / Policarboxilatos	Detergente lavavajillas
5.756.444	26-May-98	Procter & Gamble	Carbonato de sodio/ Silicato de sodio / carboxilato	Detergente de lavandería granular
5.780.420	14-Jul-98	Henkel	Silicatos de sodio (R Molar SiO <sub>2</sub> y Na <sub>2</sub> O) 1.3 a 4	Probar diferentes tipos de silicatos
5.798.328	25-Ago-98	Henkel	Silicato amorfo / Carbonato sodio, potasio o mezclas	Detergentes de lavandería
5.814.597	29-Sep-98	Henkel	Silicatos M <sub>2</sub> O:SiO <sub>2</sub> ; donde M = Na o K	Estudio de proceso
5.858.944	12-Ene-99	-	Policarboxilatos / Esteres del ácido metacrílico	Detergentes para lavadoras automáticas
5.900.399	04-May-99	Henkel	Silicatos de sodio amorfos y cristalinos	Detergentes en polvo
5.962.401	05-Oct-99	Nipón Shokubai	Copolímeros de ácido maléico / ácido policarboxílico	Detergentes de lavandería
5.994.290	30-Nov-99	BASF	Zeolita, silicatos, carbonato y fosfatos Ácido glicino-N-N diacético	Detergentes en polvo

Como se observa en los datos de la Tabla 9; las principales combinaciones de builders empleadas en detergentes de lavandería en polvo son: carbonato de sodio/silicato de sodio/carboxilato; silicato amorfo/carbonato alcalino; Silicatos de sodio (amorfos y cristalinos); y zeolita/silicatos/carbonato/fosfatos.

**Tabla 10. Patentes de builders de 2000 – 2002.**

<b>No. de Patente</b>	<b>Fecha de la Patente</b>	<b>Compañía</b>	<b>Builders empleados</b>	<b>Usos</b>
6.013.617	11-Ene-00	Rhone- Poulenc Chemie	Silicato alcalino amorfo / carbonato alcalino	Detergentes de lavandería
6.034.050	07-Mar-00	Henkel	Silicato alcalino amorfo / carbonato alcalino	Detergentes en polvo
6.046.149	04-Abr-00	Procter & Gamble	Zeolitas / silicatos alcalinos / polímero	Detergentes de lavandería
6.100.232	08-Ago-00	Procter & Gamble	Carbonato de calcio cristalino encapsulado con sulfonato de xileno	Detergente en polvo para lavandería y lavavajillas
6,174,852 B1	16-Ene-01	Kao Corporation	Zeolita / silicato de sodio / ácido glicino-N-N-diacético	Detergentes en polvo de alta densidad
6,191,096 B1	20-Feb-01	Henkel	Silicatos amorfos y cristalinos $M_2O:SiO_2$ ; M = Na o K	Detergente en polvo para lavandería
6,331,512 B1	18-Dic-01	Amway corporation	Silicato de sodio / Poliacrilato de sodio	Detergentes lavavajillas
6,372,709 B1	16-Abr-02	Clariant GmbH	Disilicato de sodio cristalino	Detergentes de lavandería
6,391,846 B1	21-May-02	Unilever Home	Componente granular zeolita	Detergente en polvo y líquidos
6,395,696 B2	28-May-02	Unilever Home	STPP / silicato de sodio / carbonato de sodio (zeolita / silicato de Na / ácido cítrico)	Detergente de lavandería
6,417,152 B1	09-Jul-02	Henkel	Zeolita / Silicato de sodio / Carbonato de sodio	Detergentes de lavandería
6,455,491 B2	24-Sep-02	Clariant GmbH	Compuesto granular filosilicato alcalino	Detergentes de lavandería
6,458,755 B2	01-Oct-02	Henkel	Silicato amorfo alcalino / carbonato sodio	Detergentes de lavandería
6,462,006 B1	08-Oct-02	Henkel	Fosfatos y silicatos cristalinos	Detergentes lavavajillas sólidos

Si analizamos la Tabla 10, encontramos que las principales combinaciones de builders empleadas en detergentes de lavandería en polvo son: silicato amorfo alcalino/carbonato alcalino; zeolitas/silicatos alcalinos/poliacrilato; STPP/silicato de sodio /carbonato de sodio; zeolita/silicato de sodio/citrato; y zeolita/silicato de sodio/carbonato de sodio.

**Tabla 11. Patentes de builders de 2003 – 2006.**

<b>No. de Patente</b>	<b>Fecha de la Patente</b>	<b>Compañía</b>	<b>Builders empleados</b>	<b>Usos</b>
6,511,952 B1	28-Ene-03	ARCO Chemical Tech. L.P.	Policarboxilatos / acrílico	Detergentes de lavandería líquidos
6,521,585 B1	18-Feb-03	Kao Corporation	Granulado de alta densidad de silicato de sodio y un surfactante no iónico	Detergentes de lavandería
6,559,113 B2	06-May-03	Procter & Gamble	Policarboxilatos / citrato de sodio	Detergentes de lavandería
6,573,229 B2	03-Jun-03	Unilever Home	Zeolita / silicato de sodio / carbonato de sodio	Detergentes de lavandería en polvo y líquidos
6,610,644 B1	26-Ago-03	Procter & Gamble	Aglomerado de silicato cristalino	Detergentes sólidos, líquidos y tabletas.
6,610,645 B2	26-Ago-03	Procter & Gamble	Carbonato de sodio Carbonato de calcio cristalino	Detergentes de lavandería
6,716,808 B2	06-Abr-04	Procter & Gamble	Zeolita / silicato de sodio / carbonato de sodio	Detergentes en polvo y tabletas
6,743,762 B1	01-Jun-04	Church & Dwight Co.	Compuesto de carbonato (Na, K) y un aditivo	Detergente de lavandería
6,770,611 B2	03-Ago-04	Huish Detergents, Inc.	Silicato de sodio	Detergente de lavandería en polvo
6,784,149 B2	31-Ago-04	Clariant GmbH	Silicatos con partículas pequeñas 1-500nm (micro-dispersión)	Detergentes de lavandería
6,844,310 B2	18-Ene-05	Clariant GmbH	Silicato de sodio cristalino / zeolita	Detergentes de lavandería
6.855, 651 B2	15-Feb-05	Quest International B.V	STPP / silicato de sodio / carbonato de sodio	Detergentes líquidos
6,855,681 B1	15-Feb-05	Quest International B.V	Silicato de sodio / citrato de sodio	Detergentes líquidos

**Tabla 11. Patentes de builders de 2003 – 2006 (Continuación).**

<b>No. de Patente</b>	<b>Fecha de la Patente</b>	<b>Compañía</b>	<b>Builders empleados</b>	<b>Usos</b>
6,908,895 B2	21-Jun-05	Unilever Home	Zeolita / citrato de sodio / carbonato de sodio	Detergentes de lavandería
7,022,657 B2	04-Abr-06	Unilever Home	Carboxilatos / ácido cítrico	Detergente para lavandería en gel
7,091,168 B2	15-Ago-06	Cognis Deutschland	Ácidos poli-carboxílicos / ácido cítrico	Detergentes líquidos

Como se observa en los datos de la Tabla 11; las principales combinaciones de builders empleadas en detergentes de lavandería en polvo son: carboxilatos (citrato de sodio/poliacrilatos); zeolita/silicato/carbonato; silicato de sodio cristalino/zeolita; STPP/carbonato de sodio/silicato de sodio; silicato/citrato; y zeolita/citrato/carbonato.

### **3. TÉCNICA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DEL AGUA**

#### *Teoría*

La dureza del agua se debe a la presencia de iones metálicos polivalentes disueltos, aunque dado que el calcio y el magnesio (éste en menor proporción) son los cationes mayoritarios, se entiende como dureza la concentración de estos dos iones y se expresa en mg/L de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), es decir, en ppm de  $\text{CaCO}_3$ .

Se consideran aguas blandas las que contienen una dureza inferior a 60mg/L de carbonato de calcio, duras las que contienen del orden de 100mg/L y muy duras las que superan los 200mg/L.

Este parámetro se determina mediante una complejometría o volumetría de complejación con EDTA a pH de 10, empleando como indicador al negro de eriocromo T (NET). En ocasiones interesa distinguir entre la dureza debida al calcio y la debida al magnesio; en estos casos se lleva a cabo una segunda determinación, a pH 12-12.5 y con calcón o murexida como indicador, que permite obtener la concentración de calcio.

#### *Ecuaciones*



#### **4. PRUEBAS DE DETERGENCIA ENCONTRADAS EN REVISTAS**

Se realizó una revisión de artículos contenidos en algunas revistas de importancia mundial, los cuales involucraban la realización de pruebas de detergencia empleando distintos builders y formulaciones. A continuación se presenta un pequeño extracto de cada uno de los artículos.

- Synthesis, Physicochemical Properties, and Detergency of Disodium 2-Alkyl-1,3-propanediyl Bissulfates [64]

En este artículo se describe la síntesis y las propiedades fisicoquímicas de una serie de surfactantes aniónicos altamente tolerantes al calcio. Se reportan los resultados de las pruebas de detergencia para uno de los surfactantes, en formulaciones con o sin builder. Estas pruebas se llevaron a cabo utilizando un tergotómetro (equipo para hacer pruebas

de detergencia y encogimientos residuales) . Los resultados de estas pruebas se compararon con los resultados de las pruebas de detergencia de surfactantes estándares: un alquilbencensulfonato linear (LAS 113), un alquilsulfato linear (PAS 45) y un alquiletersulfato (PAES 23-2S), representando surfactantes aniónicos estándares comerciales de los cuales, el último es tolerante al calcio, es decir, no forma precipitados en solución acuosa en la presencia de iones calcio. El desempeño de detergencia del surfactante sintetizado y probado fue similar al del PAES 23-2S, con y sin builder.

- Microemulsion Formation and Detergency with Oily Soils: II. Detergency Formulation and Performance [65]

En este artículo se aplicó el sistema mezclado de surfactante para remover suciedad aceitosa de telas (una combinación poliéster/algodón), y se correlacionaron los resultados de detergencia con el comportamiento de la fase. Además, el desempeño de detergencia del sistema a temperatura baja (25° C) estuvo cerca del obtenido a temperatura alta (55° C).

- Development of a Phosphate-Free Home Laundry Detergent [66]

Se sintetizó un grupo de surfactantes multifuncionales con la finalidad de obtener materiales que funcionen bien en agua dura. Se encontró que las sales de alquilarilsulfopropionatos, alquilarilsulfonamidas de taurina y la alquilarilsulfonamida del ácido aminoetilsulfúrico, son absolutamente efectivas. Se evaluó la detergencia de estos materiales con la ayuda de telas estándares. Se incluyeron en este estudio, por comparación, detergentes formulados análogamente basados en alquilbencensulfonato linear. Se encontró que se podían desarrollar formulaciones de detergentes de alto rendimiento libres de fosfatos satisfactoriamente.

- Effects of Calcium Present in Fabric and in Washing Liquor on Detergency [67]

Para esclarecer cómo el calcio existente, no únicamente en el agua usada para lavar, sino también en las telas de algodón que se lavan, puede afectar en el desempeño de detergencia; se realizaron mediciones de la cantidad de calcio presente en telas de algodón, la evaluación de los contenidos de calcio en las aguas de lavado para diversas condiciones de lavado y se realizaron varias pruebas de detergencia. Las pruebas de detergencia dejaron claro que el contenido de calcio en las telas de algodón no influye en el desempeño de detergencia a niveles de dureza del agua más altos, pero exhibe una influencia negativa a niveles de dureza del agua más bajos.

- Comparative Study of Conventional and Compact Detergents [68]

Se llevó a cabo un estudio experimental con formulaciones de detergentes compactos y convencionales. El estudio comparativo se enfoca, entre otros aspectos, en el tipo de builder contenido en el producto terminado. Se evaluó la detergencia como una función de la dosis y algunos otros parámetros concernientes al impacto ambiental para cada categoría de formulación. Se emplearon telas de algodón y poliéster/algodón manchadas para determinar la detergencia (% de suciedad removida).

- Detergency Study of the Synergism Between Oily and Particulate Soil on Polyester/Cotton Fabric [69]

El orden de aplicación de los diferentes tipos de suciedades empleadas en esta investigación a un sustrato fibroso se utilizó como un método diagnóstico para fomentar el entendimiento del fenómeno de ensuciamiento. Se investigaron los efectos de la temperatura de lavado y las formulaciones de detergente comerciales con diferentes sistemas de builders en la remoción de suciedad y la apariencia de la tela. Se estudió por microscopía la distribución de la suciedad residual sobre la estructura del hilo.

- Tallow Based Detergent Formulations: Mixtures of Alcohol Sulfates, Salts of  $\alpha$ -Sulfo Acids and Esters, and Soap [70]

Se compararon diversos sistemas como soluciones con o sin builders en agua dura y blanda, con respecto a la formación de espuma y a la detergencia, empleando cuatro tipos diferentes de algodón manchado estándar.

- The effect of water hardness on washing performance of built and unbuilt surfactants [71]

Se utilizaron cinco surfactantes diferentes en concentraciones del 2.0%. El más efectivo fue el Synthrapol N y el menos efectivo el Ahcowet RS; basándose en su rango de índice de blancura. Ambos surfactantes se evaluaron con la adición de carbonato de sodio, STPP y una combinación 1:1 de los dos builders. En ambos casos, la adición de un builder mejoró la eficiencia de limpieza del surfactante.

- A survey of commercial laundry detergents - how effective are they? Part I: powders [72]

Se evaluó la efectividad en la limpieza de una tela de algodón manchada estándar, en agua blanda (5ppm), de 11 formulaciones de detergentes en polvo libres de fosfatos y 12 formulaciones de detergentes en polvo que contienen fosfatos. Se encontró que en agua blanda no existía diferencia entre lavar con alguno de los dos tipos de formulaciones.

- Soap-Based Detergent Formulations I. Comparison of Soap-Lime Soap Dispersing Agent Formulations With Phosphate Built Detergents [73]

Las combinaciones de jabón con pequeñas cantidades de agentes de dispersión son detergentes eficientes en agua dura y requieren de poco o nulo STPP como builder. Se

llevaron a cabo pruebas de detergencia con tres prendas comerciales de algodón manchadas empleando una técnica de multi-lavado en el laboratorio.

- Detergent Action of Rosin Soaps and Fatty Acid -- Rosin Soaps [74]

El estudio de la acción detergente de algunos tipos de jabones presentado en este artículo es parte de una investigación sobre las propiedades de los jabones, realizada en el laboratorio de la Naval Stores Research Division. Para evaluar la acción detergente de los jabones con mayor exactitud, se desarrollaron pruebas de lavado vía laboratorio.

- Builder Performance in Detergent Formulations and Biodegradability of Partially Dicarboxylated Amylopectin [75]

Se llevaron a cabo pruebas de detergencia con formulaciones de detergentes de alto rendimiento. La detergencia se determinó por el contenido de grupos dicarboxilato en el polímero. Los polímeros con altos contenidos de dicarboxilatos mostraron mejor desempeño como builder. La dicarboxiamilopectina sódica (DCAp) exhibió un desempeño como builder mejor al desempeño de los correspondientes amilo-derivados. Esto se debe a su facilidad para secuestrar iones calcio. El desempeño como builder en la formulación de detergente mejora grandiosamente con el incremento en la cantidad de DCAp utilizado en la formulación.

- A Novel Dianionic Surfactant from the Reaction of C14-Alkenylsuccinic Anhydride with Sodium Isethionate [76]

El alquenilcarboxisulfonato (ACS), un surfactante difuncional, presenta una combinación única de propiedades: genera espuma moderadamente, detergencia efectiva, capacidad para funcionar como un co-builder en sistemas formulados para limpieza. El ACS ha mostrado propiedades como un agente que reduce la re-deposición de la suciedad en tres formulaciones líquidas de alto rendimiento diferentes. En adición,

se pueden formular detergentes líquidos de alto rendimiento que contengan ACS para niveles elevados de surfactante o builder orgánico.

## **5. PRUEBAS DE INCRUSTACIÓN EN LA TELA, ANTI-REDEPOSICIÓN DE LA SUCIEDAD Y TURBIDEZ ENCONTRADAS EN PATENTES**

Se realizó la revisión de 3 patentes, las cuales involucraban la realización de pruebas de desempeño (incrustación en la tela, anti-redeposición de la suciedad, etc.) empleando distintos builders y formulaciones. A continuación se presenta un pequeño extracto de cada una de las patentes.

- **Patente Número: 5,376,300**

*Fecha de la Patente:* 27 de Diciembre de 1994

*Asignación:* Church & Dwight Co., Inc., Princeton, N. J.

*Extracto:* La composición de detergente de lavado en polvo incluye un surfactante activo, por lo menos 70% p/p de una sal de carbonato alcalina soluble en agua, e. g., carbonato de sodio, aproximadamente de 0.1 a 2% p/p de un agente ligante que contenga fósforo, e. g., tripolifosfato de sodio (STPP), de 0.1 a 2% p/p de un policarboxilato polimérico, e. g., un poliacrilato, y de 1-12% p/p de agua.

El empleo de la formulación detergente mencionada con anterioridad provee a las telas de limpieza y blanqueado excelentes. Por otra parte, evita el problema de eutrofización que ocurre cuando se utiliza en la composición una cantidad sustancial de un builder que contiene fósforo, tal como el STPP. Del mismo modo, minimiza el problema de incrustación en la tela que se presenta con frecuencia cuando la composición contiene una gran cantidad de carbonato empleado como builder.

- **Patente Número: 5,552,078**

*Fecha de la Patente:* 3 de Septiembre de 1996

*Asignación:* Church & Dwight Co., Inc., Princeton, N. J.

*Nota:* El límite de esta patente no debe extenderse más allá de la fecha de expiración de la Patente No. 5,376,300.

*Extracto:* Una composición de detergente de lavado en polvo incluye un surfactante activo, por lo menos 70% p/p de una sal de carbonato alcalina soluble en agua, e. g., carbonato de sodio, aproximadamente de 0.1 a 2% p/p de un agente de secuestación que contenga fósforo, e. g., tripolifosfato de sodio (STPP), de 0.1 a 2% p/p de un policarboxilato polimérico, e. g., un poliacrilato o un polimaleato, y de 1-12% p/p de agua.

El empleo de la formulación detergente mencionada con anterioridad provee a las telas de limpieza y blanqueado excelentes. Por otra parte, evita el problema de eutrofización que ocurre cuando se utiliza en la composición una cantidad sustancial de un builder

que contiene fósforo, tal como el STPP. Del mismo modo, minimiza el problema de incrustación en la tela que se presenta con frecuencia cuando la composición contiene una gran cantidad de carbonato empleado como builder.

- **Patente Número: 5,863,877**

*Fecha de la Patente:* 26 de Enero de 1999

*Asignación:* Church & Dwight Co., Inc., Princeton, N. J.

*Extracto:* Una composición de limpieza sin agentes blanqueadores, e. g., detergente de lavado, en la cual los componentes sólidos incluyen por lo menos 70% p/p de carbonato de sodio, y 12% p/p de magnesio elemental en la forma de sal soluble en agua, e. g., sulfato o cloruro de magnesio, basado en el peso total de los sólidos de la composición. Preferentemente, la composición también contiene un surfactante activo y, cuando se usa como detergente de lavado, un policarboxilato polimérico, e. g., un polímero de ácido acrílico.

La incorporación intencional de iones magnesio en la composición de limpieza anteriormente mencionada, la cual contiene iones carbonato, se realiza para minimizar las interacciones negativas que ocurrirán entre la precipitación del carbonato de calcio y el sustrato que se desea limpiar, e. g., la incrustación en la tela cuando se utiliza a la composición como un detergente de lavado.

## 6. PROVEEDORES DE MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO INEXISTENTES EN EL LABORATORIO DE TRABAJO

Enseguida se muestra una tabla con los posibles proveedores tanto de materiales como de equipo con los que no se contaban en el laboratorio de trabajo; los cuales, eran imprescindibles para continuar con el desarrollo del proyecto (Tabla 12). Posteriormente se realizaría una selección de los proveedores más convenientes, considerando los productos que se necesitaban.

**Tabla 12. Lista de posibles proveedores.**

<i>Material y/o Equipo</i>	<i>Proveedores</i>	<i>País</i>
Citrato de sodio	Química Framcee	México
	Macame y Compañía	México
	Sintetic Mexicana	México
	Alquimia Mexicana	México
	Abaquim	México
	Grupo Protinus	México
	Mallinckrodt Baker S.A. de C.V.	México
	Productos Químicos Mardupol	México
	Flash Chemicals de México	México
	CEDROSA	México
Polímeros de ácido acrílico	Cognis Mexicana (Conjunto Lar)	México
	Cognis Mexicana (DPS Mexicana)	México
	Rohm & Haas México	México
	Chem Central México	México
	ASSA Química	México
	Aditivos Químicos el Rey	México
Surfactantes	Cognis Mexicana (Conjunto Lar)	México
	Cognis Mexicana (DPS Mexicana)	México
Silicatos	Silicatos y Derivados S.A. de C.V.	México
Telas Estándares (con o sin manchas)	Testfabrics Inc.	EUA
	Textile Innovators	EUA
Equipos para pruebas de detergencia (Tergotómetros, etc.)	Suttex	México
	Equipos y Servicios Westek S.A. de C.V.	México
	Testfabrics Inc.	EUA

## VI. PROPUESTA DE MEZCLAS DE BUILDERS

En este apartado se presenta la idea de trabajo generada a partir del análisis de la información recabada durante el transcurso del proyecto. Una vez realizada la investigación, se revisó toda la información recopilada y se dedujo, en coordinación con el investigador titular del proyecto y tomando en consideración información proporcionada por algunos proveedores, que se formularían mezclas tomando como base los siguientes builders:

**Tabla 13. Builders seleccionados.**

<i>Builder</i>
Tripolifosfato de sodio (STPP)
Carbonato de sodio
Silicato de sodio líquido
Metasilicato de sodio anhidro
Citrato de sodio

Dichos builders se seleccionaron tomando en consideración, principalmente, los siguientes puntos:

- El tripolifosfato de sodio (STPP), es un builder con propiedades excelentes para las formulaciones en polvo tradicionales. Elimina la dureza del agua (ligante). Provee condiciones de alcalinidad y amortiguamiento del pH (mínimas en comparación con el carbonato y silicato de sodio). Además, dispersa la suciedad y ayuda al procesamiento en la manufactura de detergentes en polvo.

- El silicato de sodio se ha empleado tradicionalmente en las formulaciones de detergentes, como fuente de alcalinidad y agente amortiguador, para acarrear la suciedad dispersada y como inhibidor de la corrosión.
- El metasilicato de sodio anhidro se usa ampliamente en detergentes en polvo por sus propiedades anticorrosivas. Las soluciones comerciales (silicatos de sodio estratificados) ofrecen algunos beneficios como builders multifuncionales.
- El carbonato de sodio es económico, se utiliza principalmente como un componente que proporciona alcalinidad en las formulaciones en polvo que contienen fosfato. El incremento del pH contribuye a mejorar el desempeño de detergencia.
- Tanto el carbonato de sodio como el silicato de sodio se han empleado en detergentes en polvo, de manera individual o combinados.
- El citrato de sodio se usa frecuentemente como sustituto del STPP en detergentes líquidos por sus propiedades de enmascaramiento (ablandamiento del agua). Se incorpora en algunas formulaciones en polvo para ayudar a la constitución, dispersión y solubilidad. Además, el citrato de sodio es el builder ideal en lo que concierne a la seguridad del cliente.
- Todos los builders anteriormente descritos exhiben un buen desempeño de detergencia (ver Figs. 16-18).

Basándonos en las principales combinaciones de builders empleadas en detergentes de lavandería en polvo que incluyen los builders anteriormente mencionados (ver Tablas 8-11); tales como: STPP/carbonato de sodio/silicato de sodio, silicato de sodio/citrato, carbonato de sodio/silicato de sodio y carbonato de sodio/silicato de sodio/carboxilato (citrato). Se seleccionaron los siguientes sistemas:

1. Tripolifosfato de sodio (STPP) + Carbonato de sodio + Silicato de sodio líquido.
2. Tripolifosfato de sodio (STPP) + Carbonato de sodio + Metasilicato de sodio anhidro.
3. Tripolifosfato de sodio (STPP) + Carbonato de sodio + Citrato de sodio + Silicato de sodio líquido.

Una vez seleccionados los sistemas a probar, se realizó un diseño experimental con la ayuda de un software (Design-Expert®), con la finalidad de cubrir el requisito de proponer distintas mezclas de builders para desarrollarlas y evaluarlas posteriormente en el laboratorio de trabajo.

Cabe mencionar que se acordó dividir la evaluación de dichas mezclas en tres etapas, con el propósito de analizar los resultados al término de cada una de ellas y establecer parámetros de referencia para la siguiente. Esto, una vez que se llevara a cabo la experimentación.

A continuación se presentan las distintas mezclas de builders propuestas para desarrollarse a nivel laboratorio, para su posterior evaluación y validación.

✓ *Etapa 1*

<b>Mezcla de estándares</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>	<b>Componente 3</b>
	<b>STPP (% p/p)</b>	<b>Carbonato de sodio (% p/p)</b>	<b>Silicato de sodio líquido (% p/p)</b>
1	100	0	0
2	50	50	0
3	50	0	50
4	0	100	0
5	0	50	50
6	0	0	100
7	67	16.5	16.5
8	16.5	67	16.5
9	16.5	16.5	67
10	33.33	33.33	33.33

✓ *Etapa 2*

<b>Mezcla de estándares</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>	<b>Componente 3</b>
	<b>STPP (% p/p)</b>	<b>Carbonato de sodio (% p/p)</b>	<b>Metasilicato de sodio anhidro (% p/p)</b>
11*	100	0	0
12*	50	50	0
13	50	0	50
14*	0	100	0
15	0	50	50
16	0	0	100
17	67	16.5	16.5
18	16.5	67	16.5
19	16.5	16.5	67
20	33.33	33.33	33.33

\* Se toman como referencia los resultados obtenidos en la etapa 1 y se suspende su desarrollo y evaluación en esta etapa.

✓ *Etapa 3*

---

<b>Mezcla de estándares</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>	<b>Componente 3</b>	<b>Componente 4</b>
	<b>STPP (% p/p)</b>	<b>Carbonato de sodio (% p/p)</b>	<b>Citrato de sodio (% p/p)</b>	<b>Silicato de sodio líquido (% p/p)</b>
21	0	0	95	5
22	47.5	0	47.5	5
23	0	47.5	47.5	5
24	31.65	31.65	31.65	5
25	65	15	15	5
26	15	65	15	5
27	15	15	65	5

---

## VII. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS DE BUILDERS

Basándome en la información obtenida y haciendo hincapié en las funciones que debe cubrir un builder, se propone implementar y desarrollar las siguientes técnicas de pruebas de laboratorio para la evaluación de dichas mezclas (Tabla 14).

**Tabla 14. Pruebas de laboratorio para la evaluación de las mezcla de estándares.**

<i>Función de los builders</i>	<i>Prueba de laboratorio</i>
Proveer alcalinidad	Evaluación del pH de soluciones al 1% (p/v)
Efecto amortiguador	Evaluación de la capacidad buffer
Controlar la dureza del agua	Evaluación del ablandamiento del agua
Actividad dispersante y actividad de anti-redeposición	Pruebas de limpieza, incrustación en la tela, anti-redeposición de la suciedad, turbidez.
Ayuda de procesamiento (capacidad de absorción de líquidos)	Pruebas de absorción de surfactantes no iónicos

### 1. EVALUACIÓN DEL pH DE SOLUCIONES AL 1% (p/v)

#### Reactivos

- ✓ Mezclas de estándares
- ✓ Agua desionizada

## **Aparatos**

- ✓ Potenciómetro (The Oakton pH 500 Benchtop Meter)

## **Disoluciones**

- ✓ Disoluciones al 1% (p/v) de las mezclas de estándares a analizar.

Disolver 0.25g de la mezcla de estándares a probar en la mínima cantidad de agua. Aforar a 25mL en un matraz volumétrico.

## **Procedimiento**

Se procede a realizar las mediciones del pH de las soluciones al 1% (p/v) de cada una de las mezclas de estándares a analizar. El resultado se reportará como pH de la solución al 1% (p/v) de la mezcla de estándares correspondiente.

La solución que presente el pH más elevado correspondería a la mezcla de builders (estándares) capaz de proveer una mayor alcalinidad al medio.

## 2. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD BUFFER

### Reactivos

- ✓ Mezclas de estándares
- ✓ Ácido clorhídrico R. A.
- ✓ Agua desionizada

### Aparatos

- ✓ Potenciómetro (The Oakton pH 500 Benchtop Meter)

### Disoluciones

- ✓ Disoluciones al 1% (p/v) de las mezclas de estándares a analizar.

Se ocuparán las soluciones de las mezclas de estándares preparadas para la evaluación del pH (prueba anteriormente descrita).

- ✓ Disoluciones al 0.4% (p/v) de las mezclas de estándares a analizar.

Se prepararán por dilución de las soluciones al 1% (p/v) de cada una de las mezclas de estándares a probar. Tomando con una pipeta volumétrica 10mL de la solución al 1% (p/v) correspondiente y aforando a 25mL en un matraz volumétrico.

✓ Disolución de ácido clorhídrico 0.1N (HCl 0.1N)

Disolver 8.3mL de HCl R. A. en 500mL de agua. Aforar a 1L en un matraz volumétrico.

### Procedimiento

Titular potenciométricamente 25mL de cada una de las soluciones al 0.4% (p/v) de las mezclas de estándares con HCl 0.1N; se realizará una lectura de pH por cada 0.5mL de HCl 0.1N añadidos. Seguir la valoración potenciométricamente de 0 a 30mL agregados de HCl 0.1N (en caso de ser necesario).

La capacidad buffer se tomará como el volumen de HCl 0.1N agregado donde hay un cambio considerable en la primera pendiente (Fig. 19)

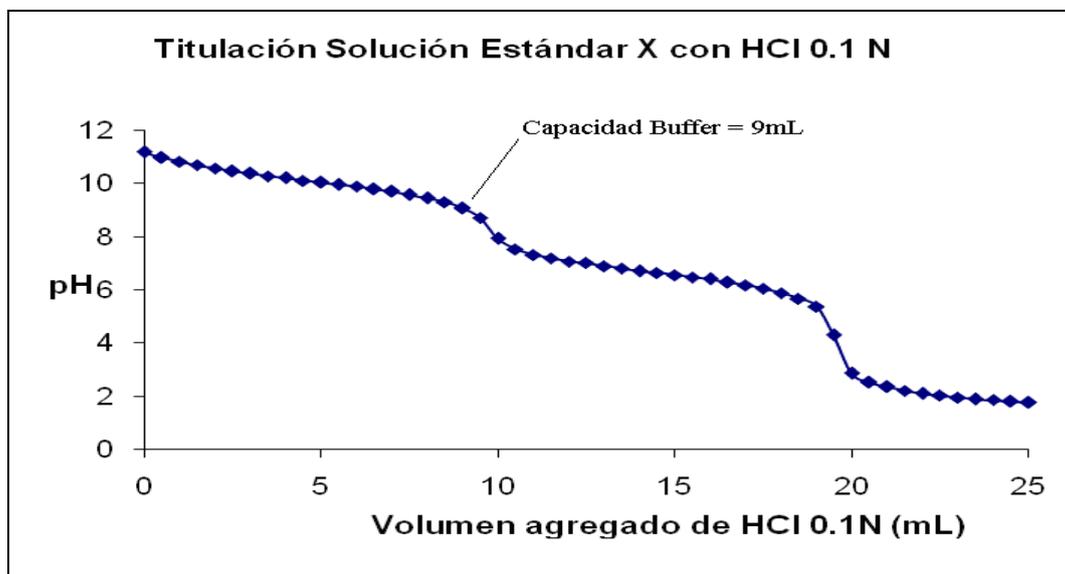


Fig. 19. Evaluación de la capacidad buffer.

La mezcla de builders (estándares) que presente mayor capacidad buffer será aquella que amortigüe un volumen mayor de HCl 0.1N.

### **3. EVALUACIÓN DEL ABLANDAMIENTO DEL AGUA**

#### **Reactivos \***

- ✓ Mezclas de estándares
- ✓ Agua desionizada
- ✓ Negro de eriocromo T (NET)
- ✓ Carbonato de sodio
- ✓ Alcohol isopropílico (99%)
- ✓ Amoníaco concentrado
- ✓ Ácido clorhídrico
- ✓ Cloruro de amonio
- ✓ Cloruro de calcio
- ✓ Cloruro de magnesio

\* Los reactivos son grado Reactivo Analítico (R.A.)

#### **Disoluciones**

- ✓ Indicador NET

Disolver 0.1g de NET en 3mL de una solución de carbonato de sodio al 0.2% (p/v). Después diluir a 10mL con alcohol isopropílico (99%), ajustar previamente el pH a 9.0 con carbonato de sodio 0.1N.

- ✓ Disolución amortiguadora de pH = 10

Se mezclan 14.3mL de amoniaco concentrado y 17.5g de cloruro de amonio y se diluyen a 250mL con agua.

- ✓ Disolución comercial titulante de EDTA (1mL = 1mg de CaCO<sub>3</sub>)

Se contaba con ella en el laboratorio de trabajo.

- ✓ Disolución de dureza estándar de 300ppm

El agua de dureza estándar se prepara disolviendo 0.3g de carbonato de calcio por cada litro de agua.

## **Procedimiento**

A 250mL de la disolución de dureza estándar de 300ppm se le añade lo necesario para tener 0.16% peso de la mezcla de estándares a probarse. Se agita la solución combinada por 20 minutos. Posteriormente, se deja reposar para permitir que las sales se sedimenten (si se forma un precipitado), filtrar la solución a través de papel Whatman no. 40.

Agregar 50mL de la muestra filtrada, con ayuda de una pipeta volumétrica, a un matraz erlenmeyer de 250mL. Adicionar 5mL de la solución amortiguadora y agitar. Adicionar de 4-6 gotas de indicador y agitar. Si la concentración de Ca y Mg es alta, la solución tomará un color vino-rojizo. Titular lentamente con agitación constante. Cuando el punto final se aproxima la solución adquiere una coloración azul pero el color vino-rojizo persiste. El punto final se alcanza cuando el color vino-rojizo desaparece y se

tiene una coloración netamente azul. Añadir las últimas gotas con intervalos de 3 a 5 segundos. Si la titulación consume más de 20mL de la solución titulante, diluir la muestra y repetir la prueba.

La titulación se lleva a cabo lentamente debido a que el punto final es rápido. Para una prueba de rutina se sugiere llevar a cabo una valoración preliminar con un volumen de muestra de 40-45mL, valorar rápidamente hasta el punto final. Después adicionar la porción restante de la muestra, la solución toma una coloración vino-rojiza. Continuar titulando lentamente hasta el punto final como se indicó previamente. Registrar los mililitros gastados de la solución titulante. El resultado se expresa en miligramos por litro de carbonato de calcio (ppm como CaCO<sub>3</sub>).

Los resultados se correlacionan con la capacidad de controlar la dureza del agua; el resultado más bajo indica mayor capacidad de ablandamiento del agua.

### **Cálculos**

Fórmula:

$$\text{ppm(comoCaCO}_3) = \left( \frac{\text{mL de la solución ítulante} \times 1000}{\text{mL de la muestra}} \right)$$

#### **4. EVALUACIÓN DE LA DETERGENCIA**

##### **Telas**

Se emplearán telas estándares de algodón y poliéster/algodón (65/35) artificialmente manchadas. La tela se cortará en rectángulos de 125mm x 150mm para obtener piezas de  $3g \pm 0.2g$ .

##### **Surfactantes**

Cada surfactante se empleará a una concentración de 2% p/v.

##### **Mezclas de estándares (builders)**

Cada mezcla de estándares se probará a concentraciones de 1.0%, 5.0%, 10.0% y 20.0% p/v.

##### **Muestras de agua**

El agua de dureza estándar se prepara disolviendo 0.3g de carbonato de calcio por cada litro de agua. Para producir 1L de agua con una dureza de 300ppm de carbonato de calcio.

El agua blanda se obtiene pasando agua corriente ( $\approx 185\text{ppm}$ ) a través de ablandador de agua de intercambio iónico. Se obtiene una muestra de agua con 5ppm de carbonato de calcio.

## **Lavado**

Las pruebas de lavado se llevan a cabo empleando un tergotómetro. El lavado se realiza por 15 minutos a  $30^\circ\text{C}$ . Se lavan cinco muestras de tela individualmente en 100mL de solución de lavado. Posteriormente se enjuagan las muestras con agua fría y se dejan secar al aire libre.

## **Mediciones de los índices de blancura**

El índice de blancura más alto corresponde a la muestra de tela más limpia. Los índices de blancura de las muestras de tela se miden usando un colorímetro (Gardner 2000) y se calculan de acuerdo al método estándar ASTM E313-73, donde los índices de blancura se definen como la diferencia de reflectancias. Se toman ocho mediciones para cada muestra, lo que da un total de 40 mediciones.

## 5. PRUEBA DE INCRUSTACIÓN EN LA TELA

**Tabla 15. Composición de detergente a probar.**

<i>Componente</i>	<i>Porcentaje (% p/p)</i>
Mezcla de estándares a analizar	81.5
Surfactante aniónico	6.0
Surfactante no iónico	3.2
Poliacrilato de sodio *	0.5
Agua	8.8

\* Peso molecular promedio de 4500.

### **Procedimiento**

Cada una de las composiciones de detergentes (Tabla 15) se prueban para determinar la incrustación en la tela por lavados repetitivos de telas de algodón a 35° C con durezas de agua de 300ppm.

Cuatro pedazos de algodón 100% negro de 25.4cm x 25.4cm junto con ≈1kg de lastres se lavan por 12 minutos con 113.4g de la composición de detergente a ser probada. Después de que el lavado se completa; de 2 a 4g del carbonato de calcio incrustado en las telas, se extraen en 100mL de ácido clorhídrico 0.2N por 30 minutos. Una alícuota de 2 a 4mL se analiza para determinar su dureza por el método de titulación con EDTA. La incrustación se expresa como mg de carbonato de calcio por gramo de tela. La

incrustación en la tela se reportará como los miligramos de CaCO<sub>3</sub> por gramo de tela incrustados después de diez ciclos de uso en la máquina de lavado.

Una menor cantidad de miligramos de CaCO<sub>3</sub> incrustados indicará baja incrustación en la tela y por lógica, un mejor desempeño de la mezcla de builders (estándares).

## 6. PRUEBA DE ANTI-REDEPOSICIÓN DE LA SUCIEDAD

**Tabla 16. Composiciones de detergente a probar.**

<i>Componente</i>	<i>Ejemplo Comparativo 1**</i>	<i>Ejemplo Comparativo 2**</i>	<i>Ejemplo Comparativo 3**</i>
Mezcla de estándares	81	80.5	81.5
Surfactante aniónico	6.0	6.0	6.0
Surfactante no iónico	3.2	3.2	3.2
Poliacrilato de sodio*	0.3	0.6	0.0
Agua	9.5	9.7	9.3

\* Peso molecular promedio de 4500.

\*\* Todas las cantidades están dadas en porcentaje (% p/p).

### Procedimiento

Cada una de las composiciones de detergentes (Tabla 16) se prueban para determinar la anti-redeposición de la suciedad, una medida de la habilidad de limpieza, por lavados a 35° C y 150ppm de dureza. Se prueban diez pedazos (réplicas) de tela de algodón y poliéster-algodón (65% algodón y 35% poliéster) con las composiciones de detergentes en la presencia de una suciedad en el fondo, y se determinan las reflectancias después de seis ciclos de lavado de 15 minutos.

Se emplea un método de prueba en el cual, fundas de almohadas de poliéster-algodón manchadas (empleadas como una fuente de suciedad) se lavan junto con los pedazos de tela 100% limpios de algodón o poliéster-algodón. Una funda de almohada de poliéster-algodón recientemente manchada se introduce después de cada ciclo mientras los pedazos de tela de algodón o poliéster-algodón permanecen ahí mismo. Las reflectancias de los pedazos de tela se leen en un colorímetro (Gardner 2000) después del sexto ciclo.

Se reportan los promedios de las reflectancias obtenidas para las muestras de algodón y poliéster-algodón. Las muestras de tela más limpias indican una mejor actividad de anti-redeposición de la suciedad.

## 7. PRUEBA DE TURBIDEZ

**Tabla 17. Composiciones de detergente a probar.**

<i>Componente</i>	<i>% p/p</i>
Mezcla de estándares	81
Surfactante aniónico	6.0
Surfactante no iónico	3.2
Poliacrilato de sodio *	0.5
Agua	9.3

\* Peso molecular promedio de 4500.

## **Procedimiento**

Las determinaciones de turbidez se obtienen como sigue:

A un vaso limpio de 2L conteniendo agua destilada a 35° C, preajustada a una dureza de 300ppm; se le añade lo necesario para tener 0.16% en peso de la composición de detergente a ser probada (Tabla 17) y se empieza a agitar, simultáneamente se activa un cronómetro. La agitación de la solución combinada se continúa y la turbidez de las soluciones se mide con un turbidímetro Hach en Unidades Nacionales de Turbidez (NTU's) en intervalos de tiempo de 1, 5, 10, 15, 20 y 30 minutos.

Los resultados se correlacionan con la incrustación en la tela; una baja turbidez indica baja incrustación en la tela.

## **8. PRUEBA DE ABSORCIÓN DE SURFACTANTES NO IÓNICOS**

### **Reactivos**

- ✓ Mezclas de estándares
- ✓ Surfactante no iónico

## **Procedimiento**

Colocar 10g de la mezcla de estándares a analizar en un vidrio de reloj. Con ayuda de una bureta realizar adiciones de 0.1mL de surfactante no iónico a la mezcla de estándares hasta observar que ésta deje de absorberlo. Se considerarán los mililitros de surfactante no iónico absorbidos por gramo de mezcla (mL/g).

## **Observaciones**

- ✓ Se recomienda proteger las manos usando guantes de látex.
- ✓ Homogeneizar la mezcla de estándares-surfactante entre cada adición de surfactante no iónico, de ser posible manualmente.
- ✓ La cantidad límite de surfactante no iónico absorbida se considerará cuando el surfactante ya no se homogeneice con la mezcla de builders, es decir, cuando la mezcla de estándares-surfactante no presente buena fluidez al tacto.

## VIII. SELECCIÓN DE PROVEEDORES Y PRODUCTOS

Enseguida se muestra una tabla que incluye tanto a los proveedores seleccionados como a los materiales y/o equipo solicitados, los cuales son imprescindibles para continuar con el desarrollo del proyecto.

**Tabla 18. Proveedores de productos seleccionados.**

<i>Material</i>		
<i>y/o</i>	<i>Producto seleccionado</i>	<i>Proveedor</i>
<i>Equipo</i>		
Citrato de sodio	Citrato de sodio dihidratado U.S.P.	Sintetic Mexicana
Polímeros	Poliacrilato de sodio G.I.	Chem Central México
Surfactantes	Glucopon 625	Cognis Mexicana (Conjunto Lar)
	Dehydol LT-7	
	Texapon N-5	
	Ácido Dodecil Bencen Sulfánico Lineal	
	Eumulgin W-600	
Silicatos*	Silicato de sodio líquido	Silicatos y Derivados S.A. de C.V.
	Metasilicato de sodio anhidro	

**Tabla 18. Proveedores de productos seleccionados (Continuación).**

<i>Material</i>		
<i>y/o</i>	<i>Producto seleccionado</i>	<i>Proveedor</i>
<i>Equipo</i>		
Telas Estándares	STC EMPA 101	Testfabrics Inc.
	STC EMPA 104	
	STC EMPA 221	
Equipos para pruebas de detergencia (Tergotómetros, etc.)	Multilav (Tergotómetro) Suttex	Suttex

\* El silicato de sodio y el metasilicato de sodio anhidro serán proporcionados por Silicatos y Derivados S.A. de C.V. y son los que utiliza Procter & Gamble (P&G) en sus formulaciones.

## IX. RECOMENDACIONES

La investigación bibliográfica es aquella etapa de la investigación científica donde se explora qué se ha escrito en la comunidad científica sobre un determinado tema o problema. En primera instancia, se pueden plantear las siguientes interrogantes: ¿Qué hay que consultar, y cómo hacerlo?

La investigación es una búsqueda orientada, con propósitos definidos, para obtener conocimientos nuevos. En consecuencia, la investigación es un proceso que requiere de métodos y técnicas [77].

Definir los métodos y técnicas no es tarea fácil, pues ambos se interrelacionan y complementan; sin embargo, cabe señalar que los métodos son los *procedimientos* que se siguen para llevar a cabo un estudio sistemático de los fenómenos. Y las técnicas son los *recursos* de los cuales dispone el investigador para recabar información [77].

Con la adquisición de nuevos conocimientos, el investigador se enfrenta a varios obstáculos socioculturales, económicos y políticos. Por ello, el planteamiento de una investigación debe incluir, necesariamente, el conocimiento preciso tanto de los problemas que se pueden presentar como de la forma de superarlos. Una vez eliminados los obstáculos iniciales, se redefine el objeto de estudio y se procede a realizar la investigación.

En el transcurso de esta investigación aparecieron varios problemas imprevistos que se resolvieron teniendo cuidado de no apartarse de las metas iniciales. Por tal motivo, para evitar futuros contratiempos en las etapas posteriores del proyecto, se recomienda prestar atención a los siguientes puntos:

- Se recomienda revisar las fichas de seguridad de cada uno de los reactivos que se emplean en las pruebas.
- Se recomienda probar, en primer lugar, aquella mezcla de builders de la que se espere el mejor resultado en la etapa correspondiente.
- Se recomienda preparar, inicialmente, 10g de cada una de las mezclas de builders; homogeneizándolas perfectamente con ayuda de un mortero.
- Se recomienda emplear el indicador NET en polvo; debido a que la solución se descompone con rapidez.
- Se recomienda construir un diagrama ternario para cada sistema de builders estudiado y para cada prueba propuesta (una vez realizada la experimentación). Una vez obtenidos todos los diagramas de las pruebas propuestas se estará en condición de elegir el desempeño que se desee y por consiguiente, las mezclas de builders que lo cumplan para su desarrollo a nivel industrial.

## X. CONCLUSIONES

Se consultaron un total de 57 patentes, 2 libros, 12 revistas (de las cuales se consultaron 13 artículos); se analizó la información recopilada y se determinó que los builders a emplear, así como las mezclas idóneas a probar (en distintas proporciones) fueron las siguientes:

- Builders seleccionados
  - Tripolifosfato de sodio (STPP)
  - Carbonato de sodio
  - Silicato de sodio líquido
  - Metasilicato de sodio anhidro
  - Citrato de sodio
  
- Mezclas de builders (sistemas)
  - Tripolifosfato de sodio (STPP) + Carbonato de sodio + Silicato de sodio líquido
  - Tripolifosfato de sodio (STPP) + Carbonato de sodio + Metasilicato de sodio anhidro
  - Tripolifosfato de sodio (STPP) + Carbonato de sodio + Citrato de sodio + Silicato de sodio líquido

Por otra parte, analizando toda la información y considerando las funciones con las que debe cumplir un builder como componente de la formulación detergente; se determinó que las técnicas para la evaluación de dichas mezclas de builders propuestas serían las siguientes:

- Para probar la eficiencia de las mezclas de proveer alcalinidad al medio de lavado se propuso realizar una *evaluación del pH de sus soluciones al 1% (p/v)*.
- Para probar el efecto amortiguador que proporcionarían al licor de lavado se planteó realizar una *evaluación de su capacidad buffer*.
- Para probar su capacidad de controlar la dureza del agua de lavado se propuso realizar una *evaluación del ablandamiento del agua*.
- Para probar su capacidad dispersante y su actividad de anti-redeposición de la suciedad se planteó realizar una *evaluación de la detergencia* y poner en práctica *pruebas de incrustación en la tela, pruebas de anti-redeposición de la suciedad y pruebas de turbidez*.
- Para probar su capacidad de absorción de líquidos se propuso poner en práctica *pruebas de absorción de surfactantes no iónicos*.

Cabe mencionar que se seleccionaron los proveedores de materiales y equipo más convenientes, con los que no se contaban en el laboratorio de trabajo; necesarios para el desarrollo de las siguientes etapas del proyecto denominado “Builders”.

Por último, es imprescindible mencionar que una vez realizadas todas las actividades anteriormente descritas, se cumplieron los objetivos planteados para la etapa del proyecto en la que me involucré como trabajador satisfactoriamente.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. G. Jakobi and A. Löhr. (1987) *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5<sup>a</sup> edición completamente revisada, Volumen A-8 (Eds. W. Gerhartz, Y. S. Yamamoto, L. Kaudy, R. Pfefferkorn, y J. F. Rounsaville), pp. 316-320. VCH, Weinheim.
2. M. J. Schwuger y E. J. Smulders. (1987) *Surfactant Sci. Ser.* 20:1987, pp. 371-439.
3. Hans-Peter Rieck. (1995) *Paper presented at 86<sup>th</sup> Ann. Meet. of Am. Oil Chem. Soc.*, San Antonio.
4. Hans-Peter Rieck. (1994) *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> World Conference on Detergents: Global Perspectives* (Ed. A. Cahn), Champaign, IL, pp. 161-167.
5. P. Jürges. (1994) *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> World Conference on Detergents: Global Perspectives* (Ed. A. Cahn), AOCS Press, Champaign, IL, pp. 178-182.
6. F. L. M. Smeets. (1990) *Natuur en Techniek* 58:5.
7. E. O. Winter. (1965) *Seifen-Öle-Fette-Wachse* 91:189-192.
8. R. Coffey y T. Gudowicz. (1990) *Chemistry and Industry*, pp. 169-172.
9. H. Weldes. (1972) *Soap/Cosmetics/Chem. Spec.*, pp. 72-98.
10. T. C. Campbell, J. S. Falcone, Jr., y G. C. Schweiker. (1978) *Household and Personal Products Industry*, pp. 31-35.
11. R. P. Denkewicz Jr. y E. v. R. Borgstedt. (1994) *Proc. of the 3<sup>rd</sup> World Conference on Detergents: Global Perspectives* (Ed. A. Cahn), AOCS Press, Champaign, IL, pp. 213-220.
12. Hans-Peter Rieck, G. Schimmel y J. Dany. (1993) *Paper presented at 94<sup>th</sup> Annual Meeting of Am. Oil Chem. Soc.*, Anaheim.
13. Hans-Peter Rieck. (1993) *Hoechst High Chem Magazine* 14:33-38.
14. R. Fahn y N. Schall. (1985) *Tenside Deterg.* 22:57-61.
15. G. Lagaly. (1993) *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Vol. A-23, VCH, pp. 662-674.
16. Hans-Peter Rieck. (1985) Eur. Patent Appl. 164,514 to Hoechst AG.
17. Hans-Peter Rieck. (1985) Eur. Patent Appl. 164,552 to Hoechst AG.
18. G. Schimmel, M. Kotzian, A. Tapper, y G. Wingefeld. (1992) Eur. Patent Appl. 502,325 to Hoechst AG.

19. G. Schimmel, A. Tapper, y K. Bauer. (1993) Eur. Patent Appl. 548,599 to Hoechst AG.
20. Hoechst AG. (1993) *SKS-6: Detergent Builder of the Future*, Frankfurt.
21. H. G. Hauthal. (1993) *SÖFW Journal* 119:786-792.
22. G. Just. (1991) WO Patent Appl. 91/08171 to Henkel KGaA.
23. G. Just. (1992) WO Patent Appl. 92/09526 to Henkel KGaA.
24. G. W. Morey, Z. (1914) *anorg. allg. Chem.* 86:305-321.
25. K. H. Bergk, D. Kaufmann, M. Porsch, y W. Schwieger. (1987) *Seifen-Öle-Fette-Wachse* 113:555-561.
26. Hans-Peter Rieck, J. Grosse, y W. Gohla. (1985) Eur. Patent Appl. 160,873 to Hoechst AG.
27. G. Just y B. Larson. (1993) Ger. Offer 42 01 455 to Henkel KGaA.
28. CEFIC (European Chemical Industry Council), *The use of zeolite A in detergents products*, Brussels.
29. F. Wolf y H. Fürtig. (1965) *Kolloid Z. Z. Polym.* 206;46.
30. *Manufacturing Chemist.*(1994), pp. 45-47.
31. C. J. Adams, A. Araya, S. W. Carr, A. P. Chapple, P. Graham, A. R. Minihan, y T. J. Osinga, *Zeolite MAP: a new detergent builder.*
32. G. T. Brown, T. J. Osinga, M. J. Parkington, y A. T. Steel. (1990) Eur. Patent Appl. 384,070 to Unilever NV.
33. C. J. Adams y A. L. Lovell. (1995) *Paper presented at 86<sup>th</sup> Ann. Meet. Am. Oil Chem. Soc.*, San Antonio.
34. E. V. R. Borgstedt, R. P. Dekewicz, Jr., y A. S. Sherry. (1995) *Paper presented at 86<sup>th</sup> Ann. Meet. Am. Oil Chem. Soc.*, San Antonio.
35. L. Mazzola. (1994) U.S. Patent 5,332,519 to Church & Dwight Co. Inc.
36. A. Allan, A. P. Chapple, W. D. Emery, y P. Farnsworth. (1992) Eur. Patent Appl. 518,576 to Unilever.
37. S. B. Kong. (1992) Eur. Patent Appl. 463,801 to Clorox Co.
38. S. B. Kong. (1992) Eur. Patent Appl. 463,802 to Clorox Co.
39. M. J. Greenhill-Hooper. (1994) *Proceedings of 36<sup>th</sup> International WFK Detergency Conference*, Krefeld, FRG, pp. 67-76.
40. R. A. Walker, M. J. Greenhill-Hooper, y K. Quill. (1994) *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> World Conference of Detergents: Global Perspectives* (Ed. A. Cahn), AOCS Press, Champaign, IL, pp. 257-262.

41. E. J. Pancheri. (1995) U.S. Patent 5,378,388 to the Procter & Gamble Company.
42. J. Poethkow, H. Upadek, y E. Smulders. (1992) WO Patent Appl. 92/07928 to Henkel KGaA.
43. H. Upadek, H. Poethkow, R. Salz, H. J. Riebe, y W. Seiter. (1992) WO Patent Appl. 92/15663 to Henkel KgaA.
44. A. Tapper, G. Schimmel, G. Wingefeld, y H. P. Rieck. (1993) Ger. Offen. 42 10 253 to Hoechst AG .
45. S. Yanaba and T. Okubo. (1989) Jap. Patent Appl. "Hei" 1-153 800 to Lion Corp.
46. J. V. Boskamp. (1992) Eur. Patent App. 502 675 to Unilever N. V.
47. T. Crutcher, J. D. Sauer, K. R. Smith, y J. E. Borland. (1993) WO Patent Appl. 93/12217 to Ethyl Corporation.
48. F. Burzio y R. Beck. (1994) Eur. Patent Appl. 618 286 to Ausimong S.p.A.
49. H. M. Wilsberg, R. Puchta. (1994) Ger. Offen. 43 04 474 to Henkel KgaA.
50. NorsoHaas. (1991) *The Specialist in polymers for detergency*, Francia.
51. B. Kottwitz, H. Upadek, y P. Krings. (1994) Ger. Offen. 42 29 660 to Henkel KgaA.
52. H. P. Rieck, M. Schott, H. W. Bücking, A. May, y J. M. Quack. (1988) Eur. Patent Appl. 263,520 to Hoechst AG.
53. H. P. Rieck, H. J. Kalz, A. May, J. M. Quack, y H. W. Bücking. (1985) Eur. Patent Appl. 163,910 to Hoechst AG.
54. H. P. Rieck, M. Schott, y J. F. Hanauer. (1988) Eur. Patent Appl. 294 753 to Hoechst AG.
55. J. F. Hanauer, H. P. Rieck, H. J. Kalz, y J. M. Quack. (1986) Eur. Patent Appl. 175,287 to Hoechst AG.
56. G. Baillily, M. A. J. Moss, y C. P. D. Wilkinson. (1992) WO Patent Appl. 92/18594 to the Procter & Gamble Company.
57. K. Murayama, S. Takahasi, y K. Mukaiyama. (1992) Jap. Patent Appl. "Hei" 2-143 473 to Lion Corp.
58. A. Kud, W. Trieselt, P. Diessel, W. Denzinger, H. Hartmann, J. Perner, y V. Schwendemann. (1993) Ger. Offen. 41 39 826 to BASF AG.
59. A. P. Chapple. (1993) Eur. Patent Appl. 522,726 to Unilever N. V.
60. M. C. Addison y M. A. J. Moss. (1994) WO Patent Appl. 94/03554 to the Procter & Gamble Co.
61. E. Schöwel, M. Müller, G. Wäschenbach, H. Ahnsorge, y W. Ussat. (1993) Ger. Offen. 41 22 689 to Joh. A. Benckiser GmbH.

62. Hans-Peter Rieck. (1998) Builders: The Backbone of Powdered Detergents. *Powdered Detergents*, (Ed. M. S. Showell), pp. 43-107. Marcel Dekker Inc., EUA.
63. G. Broze. (1999) *Handbook of Detergents Part A: Properties*, pp. 521-525. Marcel Dekker Inc., EUA.
64. P.A. Kooreman, J.B.F.N. Engberts y N.M. van Os. (1998) *Journal of Surfactants and Detergents*, Vol. 1, No. 1, 23-28.
65. C. Tongcumpou et al. (2003) *Journal of Surfactants and Detergents*, Vol. 6, No. 3, 205-214.
66. Linfield et al. (1972) *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 49, 254-258.
67. Sumiko Goto-Doshida et al. (2003) *Journal of Oleo Science*, Vol. 52, No. 2, 73-82.
68. J. Sanchez Leal et al. (1996) *JAOCs*, Vol. 73, No. 1, 27-30.
69. J. J. Webb and S. K. Obendorf. (1988) *JAOCs*, Vol. 65, No. 8, 1357-1364.
70. Stirton et al. (1966) *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 44, 99-102.
71. J. J. Umber et al. (1992) *Journal of Consumer Studies and Home Economics*, Vol. 16, 151-159.
72. D. M. Brown, B. A. Cameron and S. S. Meyer. (1993) *Journal of Consumer Studies and Home Economics*, Vol. 17, 145-152.
73. Linfield et al. (1972) *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 49, 63-69.
74. W. D. Pohle and C. F. Speh. (1940) *Oil & soap*, 214-216.
75. S. Matsumura et al. (1994) *JAOCs*, Vol. 71, no. 7, 749- 755.
76. W.W. Schmidt et al. (1994) *JAOCs*, Vol. 71, no. 7, 695-703.
77. González, R. S. (1980) *Manual de redacción e investigación documental*, pp. 123. Trillas, México.