

# ESTUDIO Y ANALISIS EXPERIMENTAL PARA LA CARACTERIZACION DE BULONES DE ACERO COLAPSADOS

Julio Alberto Gaitán<sup>a</sup>

Rodrigo César Leurino<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Departamento de Ingeniería Mecánica, Lavaisse 610 - S 3004 EWB, Santa Fe, Argentina. [jgaitan@frsf.utn.edu.ar](mailto:jgaitan@frsf.utn.edu.ar)

## RESUMEN

Se estudia e investiga el comportamiento en servicio de un lote de bulones de acero, de 25mm de diámetro nominal, que presentan en operación un colapso accidental, provocando la súbita rotura de varios de ellos. Los citados bulones, con aproximadamente treinta días de uso, formaban parte del montaje de la estructura metálica de un Edificio en construcción, de 60m de altura, ubicado en la Provincia de Buenos Aires, en el área centro-este de la República Argentina.

Los planos de falla se encuentran localizados en la zona de rosca de los bulones, mostrando fracturas de diferente tipología, morfología y textura granular, que parecieren indicar distintas formas de rotura.

El presente Trabajo, describe el Procedimiento utilizado para estudiar, investigar y analizar experimentalmente las causas que originaron este tipo de colapso y que precauciones deberían adoptarse a efectos de evitar la reiteración de esta forma de falla.

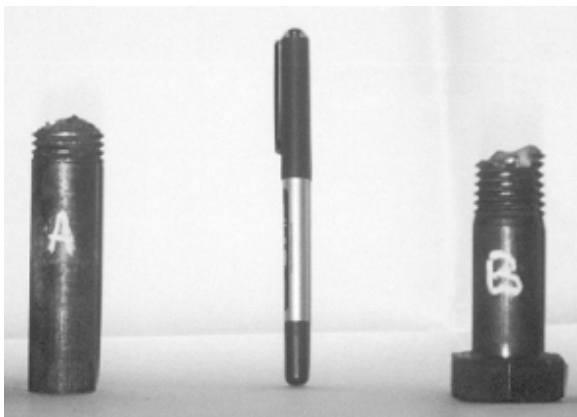
A tal efecto, se realizaron controles, ensayos y análisis tales como ensayos mecánicos, exámenes macroscópicos, ensayos de dureza, análisis microscópicos y ensayos no destructivos, discutiéndose los factores que originaron este tipo de patología y estableciéndose las principales conclusiones y recomendaciones a fin de adoptar las medidas correctivas.

Asimismo y complementando el diagnóstico de falla, se realizó un estudio de costos inherentes al reemplazo de casi dos mil bulones, lucro cesante, servicios de ingeniería, montajes y operaciones auxiliares, a efectos de determinar las pérdidas económicas provocadas por el anómalo comportamiento.

**PALABRAS CLAVES:** Colapso - Bulones - Estudio - Análisis - Falla - Caracterización.

## 1. INTRODUCCION

Algunos de los bulones, pertenecientes a la estructura de acero correspondiente a un Edificio en construcción, presentan luego de pocos días posteriores a su montaje, un súbito colapso accidental que provoca la rotura de varios de ellos. Los planos de fractura se encuentran localizados en la zona de rosca de los mismos, mostrando fallas de diferente morfología y textura, como se observa para los bulones identificados como A y B en la Figura 1, que parecieren indicar distintas formas de rotura.



**Figura 1.** Aspecto general de los bulones colapsados.

## 2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A fin de caracterizar experimentalmente a los bulones y estudiar las causas que originaron la falla de los mismos, se realizaron diversos controles y ensayos.

### 2.1 Control dimensional

Se adopta para el correspondiente análisis, un lote compuesto por 15 bulones, algunos de ellos usados y retirados de diferentes sitios del montaje, otros colapsados y varios sin uso provenientes del almacén general de la Obra.

Si bien sus longitudes son variables entre 63.5mm y 171.4mm, todos ellos tienen 25.4mm de diámetro correspondiendo, por su tamaño y cantidad de hilos de rosca, a la Serie 1-8 UNC de American National Standards [1].

### 2.2 Examen visual

Se observa que todos los bulones de acero están identificados sobre la cabeza por acuñado con la marca comercial del fabricante en relieve y la leyenda "A 490". Por su relevancia particular, se denotan las

observaciones hechas en cuatro de las muestras analizadas, a saber:

a) Muestra identificada como bulón usado 1.

En una zona de aproximadamente 20mm de longitud, situada junto a la cabeza, se observan diferencias de diámetro respecto del resto de la superficie cilíndrica del bulón. En dicha zona, el diámetro medio es 25.54mm y en el resto del bulón 25.24mm.

b) Muestra identificada como bulón usado 2.

En una zona de aproximadamente 17mm de longitud, situada junto a la cabeza, se observan diferencias de diámetro muy importantes respecto del resto de la superficie cilíndrica del bulón. En la citada zona, el diámetro medio es de 25.58mm y en el resto del bulón aproximadamente 24.36mm.

c) Muestra identificada como bulón colapsado A.

Presenta en la zona de la rosca una fractura por descohesión traccionante, cuyo plano de falla sigue la inclinación de la rosca. Corresponde a una fractura irregular, con textura granular media en color gris mate, observándose en un 60% del plano de falla, un generalizado ataque por óxidos, como se denota en la Figura 2.

La inspección macroscópica del área analizada, con ocular 20x, muestra algunas fisuras aledañas al filete fracturado.



Figura 2. Plano de falla del bulón colapsado A.

d) Muestra identificada como bulón colapsado B.

Presenta en la zona de la rosca una fractura por descohesión, cuyo plano de falla sigue una inclinación de 30° respecto al eje del bulón, presentando indicios de fractura torsionante [2]. Corresponde a una fractura inclinada, con textura granular fina en color gris mate, como se denota en la Figura 3.

La inspección macroscópica del área analizada, con ocular 20x, muestra algunas fisuras cercanas al filete fracturado.

### 2.3 Ensayos de tracción

A efectos de corroborar algunas propiedades mecánicas del material, se eligieron como muestras cuatro diferentes bulones y de ellos se maquinaron las correspondientes probetas para ensayos de tracción

estática, de acuerdo a lo indicado en el método de la Norma IRAM-IAS U 500-102 [3].

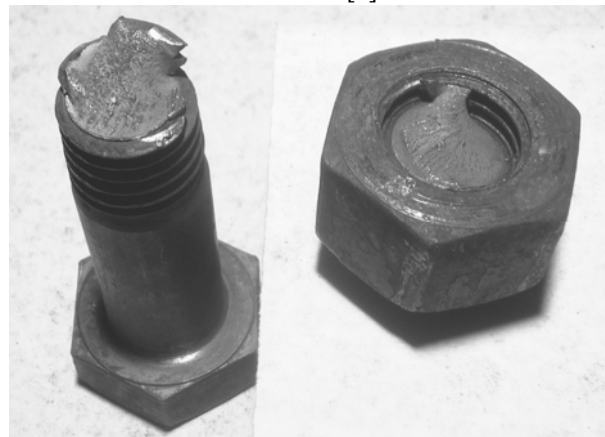


Figura 3. Plano de falla del bulón colapsado B.

Los bulones adoptados como testigos para los ensayos de tracción se identifican como: bulón usado 1 y bulón usado 2 (ver Examen visual), bulón sin uso 1 y bulón sin uso 2.

Los correspondientes ensayos se realizaron en una Máquina Universal, con celda de carga, diagramador, decodificador y sistema de adquisición de datos mediante software UTM/M-r1.2b [4], obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla I. Propiedades mecánicas en tracción.

Probeta	d <sub>o</sub> mm	Re MPa	R MPa	A %
usado 1	9.82	1137.2	1330.2	12.2
usado 2	9.64	897.8	1046.4	10.2
sin uso 1	9.72	1004.8	1092.7	12.6
sin uso 2	9.62	1105.4	1185.0	9.0

El valor de la tensión de rotura en tracción estática correspondiente a las Probetas usado 1 y sin uso 2, supera el máximo admisible indicado en la Norma ASTM A 490 [5].

Asimismo, puede observarse que ninguna de las probetas ensayadas cumplimenta el alargamiento porcentual mínimo indicado en la citada Norma de referencia.

### 2.4 Ensayos de dureza

Utilizando el método de ensayo establecido en la Norma IRAM-IAS U 500-11 / IRAM-IAS U 500-105 NM 146-1 [6], se determinó la dureza Rockwell en la superficie cilíndrica periférica de cada uno de los quince bulones tomados como muestra (ver Control dimensional).

Los citados ensayos se efectuaron en un durómetro con escala analógica, obteniéndose los valores indicados en la Tabla II.

El análisis de los resultados permite observar que únicamente uno de los bulones ensayados (usado 1), posee un valor de dureza HRC compatible con los

Límites admisibles establecidos en la señalada Norma ASTM A 490.

**Tabla II.** Dureza Rockwell promedio.

Bulón	Diámetro mm	HRC	HRB
sin uso 1	25.4	23.0 <sup>(*)</sup>	-----
sin uso 2	25.4	-----	90.8 <sup>(*)</sup>
usado 1	25.4	36.6	-----
usado 2	25.4	26.8 <sup>(*)</sup>	-----
colapsado A	25.4	39.6	-----
usado 3	25.4	30.6	-----
usado 4	25.4	30.2	-----
T 1	25.4	26.6	-----
T 2	25.4	30.2	-----
colapsado B	25.4	23.0 <sup>(*)</sup>	-----
sin uso 3	25.4	-----	100.0
sin uso 4	25.4	-----	96.8
usado 5	25.4	32.2	-----
usado 6	25.4	31.8	-----
T 3	25.4	23.6	-----

(\*) Cabe acotar que, durante el proceso de medición, en estos bulones se registraron valores aislados que discrepan respecto al promedio aritmético obtenido, en (-10 a -12) números de dureza, lo que indica algún tipo de heterogeneidad estructural.

**2.5 Análisis microscópico**

Se preparó y analizó una muestra de 25mm de diámetro, obtenida mediante el seccionamiento transversal de la superficie cilíndrica del bulón identificado como colapsado A (ver Examen visual), en zona cercana a la cabeza del mismo, utilizándose Nital 4.0% como reactivo micrográfico.

En el estudio realizado con un microscopio óptico, se observa una estructura de perlita laminar muy fina y definida, tipo sorbítica-troostítica, correspondiente a un proceso de temple con revenido a alta temperatura. Asimismo, se verifica un tamaño de grano G7-G8, de acuerdo a las especificaciones de la Norma IRAM-IAS U 500-122 [7].

Se aprecia también gran cantidad de óxidos globulares de pequeño diámetro, dispersos y distribuidos regularmente, como asimismo algunas inclusiones aisladas de silicatos. Por otra parte, no se observan sulfuros ni fisuras en el área analizada.

**2.6 Ensayos con líquidos penetrantes**

Aplicando el procedimiento de inspección indicado en la Norma IRAM-CNEA Y 500-1001 [8], se analizaron nueve bulones adoptados como muestra, con penetrante tipo C en aerosol y revelador compatible en disolvente volátil, libres de halógenos y azufre. En cada bulón se ensayó la zona de la superficie cilíndrica y el acuerdo junto a la cabeza del mismo.

En el bulón identificado como usado 1 (ver Ensayos de tracción), se observan varios poros tipo cráter superficial de aproximadamente (1.0-1.8)mm de

diámetro. En los restantes bulones inspeccionados no se observa defecto superficial alguno, dentro del rango de sensibilidad del método utilizado.

**3. CONCLUSIONES**

El análisis de los resultados obtenidos correspondientes a los controles y ensayos realizados, permite destacar que:

+ Por su forma y dimensiones generales, los bulones corresponden a la serie normalizada como 1-8 UNC.

+ Todos los bulones analizados, están identificados inequívocamente por el fabricante, como calidad ASTM A 490.

+ El examen visual de los bulones identificados como usado 1 y usado 2, muestra una disminución de área variable entre (2.3 - 9.3)% con respecto a su sección original.

+ El bulón colapsado A presenta una fractura irregular producida por tracción, observándose en un 60% del plano de falla, un importante ataque generalizado de óxidos.

+ El bulón colapsado B muestra una fractura por descohesión, cuyo plano de falla, inclinación y textura granular indican una fractura por torsión.

+ Ambos bulones colapsados en obra fallaron en la zona roscada, presentando asimismo algunas fisuras aledañas al filete fracturado.

+ Ninguna de las probetas ensayadas en tracción estática, cumplimenta las propiedades mecánicas exigidas en la Norma de referencia.

+ Sólo uno de los bulones analizados, posee un valor de dureza Rockwell compatible con los límites admisibles establecidos en la citada Norma.

+ El 27% de las muestras ensayadas, registra valores erráticos de dureza que discrepan en gran medida, respecto al promedio obtenido, lo que indica un área de medición no homogénea.

+ El análisis microscópico del bulón colapsado A, muestra gran cantidad de pequeños óxidos globulares distribuidos regularmente en la zona analizada e inclusiones de silicatos.

+ Los ensayos no destructivos realizados mediante el método de líquidos penetrantes, no indican defectos superficiales de relevancia.

Por todo lo expuesto anteriormente, se permite señalar que en los bulones analizados se observaron diferentes mecanismos de falla, a saber:

# Bulones que montados en obra, sufrieron una excesiva deformación plástica acompañada de una notoria disminución de su sección transversal.

# Bulones que luego de su montaje no resistieron el torque aplicado y fallaron por tensiones originadas por el momento torsor de apriete.

# Bulones cuyo comportamiento estructural y propiedades mecánicas no estaban en correspondencia con las tensiones de montaje aplicadas.

# Bulones estructuralmente muy heterogéneos que muestran bajo perfil de dureza y valores erráticos que discrepan notoriamente respecto al promedio obtenido.

## CONGRESO CONAMET/SAM 2004

# Bulones contruidos con un material que presenta gran cantidad de óxidos globulares y algunas inclusiones no metálicas, que debilitan la sección resistente.

Al respecto se observa que, si bien el cálculo y diseño de ingeniería preveía la utilización de bulones de acero aleado y templado, especialmente indicados para su uso en uniones estructurales, un lote importante de ellos no corresponde a dicho requerimiento.

Como conclusión, puede postularse que los bulones colapsados fallaron por no adecuarse su material a la Norma de referencia, dado que el diseño y cálculo estructural, las tensiones admisibles de proyecto y el momento torsor de montaje fueron establecidos teniendo en cuenta la calidad ASTM A 490.

A efectos de evitar la repetición de este tipo de accidente operativo, debe ponerse especial énfasis en la necesidad e importancia de implementar un adecuado control de calidad, generando un proceso de gerenciamiento, cuya pertinencia involucre de manera inequívoca a los proveedores de productos, subcontratistas y servicios críticos que afecten la calidad de la obra.

Se destaca la importancia que adquiere la aplicación de Normas, Procedimientos y Métodos de trabajo como base de la calidad, dado que colapsos como el analizado provocan accidentales interrupciones en la actividad y procesos productivos, con ingentes perjuicios económicos y lo que es peor aún, un alto costo social.

### 4. ESTUDIO DE COSTOS

Como resultado de lo expuesto, la falla de los bulones derivó en la identificación del lote defectuoso y el posterior reemplazo de 1980 bulones por otros de calidad ASTM A 490 controlada, lo que provocó la interrupción de gran parte del proceso de montaje durante un lapso de varios días.

Ello originó pérdidas que, referidas únicamente al desmontaje y montaje de los nuevos bulones, se estiman en u\$s 31.680.- A ello deben agregarse los gastos por consultoría, servicios de ingeniería, alquiler de equipos y montajes auxiliares, que suman un total de u\$s 8.300.-

Como puede observarse las pérdidas económicas provocadas por el citado evento, considerando únicamente los gastos directos, ascienden a la suma de u\$s 39.980.- sin tener en cuenta otros, de no menor importancia, como el atraso de los certificados de obra, costos financieros inherentes, gastos generales y la no soslayable pérdida general de imagen de la Empresa Contratista encargada de los montajes.

### 5. REFERENCIAS

[1] American National Standards, "American threads", issued by ANS, USA - 1998.

[2] J.Gaitán y P.Bórtoli, ©"Análisis de falla de materiales en la industria de procesos", Software Arg. Patente 212.928, Santa Fe – Copyright 2002.

[3] Instituto Argentino de Normalización-Instituto Argentino de Siderurgia, "Productos de acero, Método de ensayo de tracción, Parte I Condiciones generales", editó IRAM, Buenos Aires - 1987 - pp. 1-29.

"Método de ensayo de tracción, Parte II Barras, alambres, alambres, chapas y flejes de acero", editó IRAM, Buenos Aires - 1987 - pp. 1-9.

[4] CIFIC, ©"Ensayos de tracción estática", Software Arg. , Rosario - Copyright 1991.

[5] American Society for Testing and Materials, "Quenched and tempered alloy steel bolts for structural steel joints", issued by ASTM, Philadelphia 1991 - pp. 410-417.

[6] Instituto Argentino de Normalización-Instituto Argentino de Siderurgia, "Materiales metálicos, Dureza Rockwell, Parte 1 Medición de dureza Rockwell (escalas A, B, C, D, E, F, G, H, K, N y T)", editó IRAM, Buenos Aires - 2003 - pp. 1-20.

[7] Instituto Argentino de Normalización-Instituto Argentino de Siderurgia, "Aceros, Método de determinación del tamaño de grano", editó IRAM, Buenos Aires - 1978 - pp. 1-19.

[8] Instituto Argentino de Normalización-Comisión Nacional Argentina de Energía Atómica, "Ensayos no destructivos, Inspección con líquidos penetrantes, Principios generales", editó IRAM, Buenos Aires 1996 - pp. 1-26.