Pulsotron-2 ignition conditions verification

Javier López
Chris Costa
Judith Atkins
Jorge Juan López

ABSTRACT

In the present paper the Pressure Ignition Conditions verification will be described, these were performed in October 2013 by an external certification company which checked all operations that were carried out, using calibrated and standard instruments and conventional formulas only.

This unprecedented procedure that was performed on a test fusion machine can be used in a similar way on other machines in order to establish a standard benchmark for fusion.

Pulsotron-2 is a Z-pinch machine designed to obtain ignition conditions for D-T or D-D fuel but also paving the way to aneutronic ones as Boron11-Proton and Lithium-6-proton

EQUIPMENT USED

As the tests had to be verified, all instrumentation must be standard and calibrated , not only to obtain the results but also the uncertainty in the measurement.

As long as the tests had to be verified, all instrumentation must be standard and calibrated, not only to obtain the results but also the uncertain in the measurement

We used a standard 2 channels high speed digital oscilloscope
Micro ohmmeter
LCR to measure the capacity of the capacitor bank

PARAMETERS TO BE MEASURED

The current was measured: The two standard systems are by measuring the voltage drop through a resistor or by measuring the voltage drop through capacitors. Both systems have given the same results in our previous tests taking into account the parasite values, but we decided to use the voltage drop due to the fact that it is not needed to use any filtering that could introduce more errors.

ECUATIONS

The maximum magnetic field was obtained from following formula:

$$B\max = \frac{\mu_0 I_{\max}}{2\pi r}$$

Where "r" is the plasma radius. According to the needle sensors used the plasma radius is really compressed from initial one but we took the initial measure which is a worse case.

As long as we always used the international Units System, r is in meters, l in amps, B in Teslas and μo =4e-7*π
In order to reduce error we measured maximum current during more than 100 nanoseconds time.

Then it is obtained the maximum pressure:

$$P\max = \frac{B_{\max}^2}{2\mu_0}$$

Where μo =4e-7*π

The double product Pmax*t can also be obtained where t is the time reached during Pmax.

TEST RESULTS

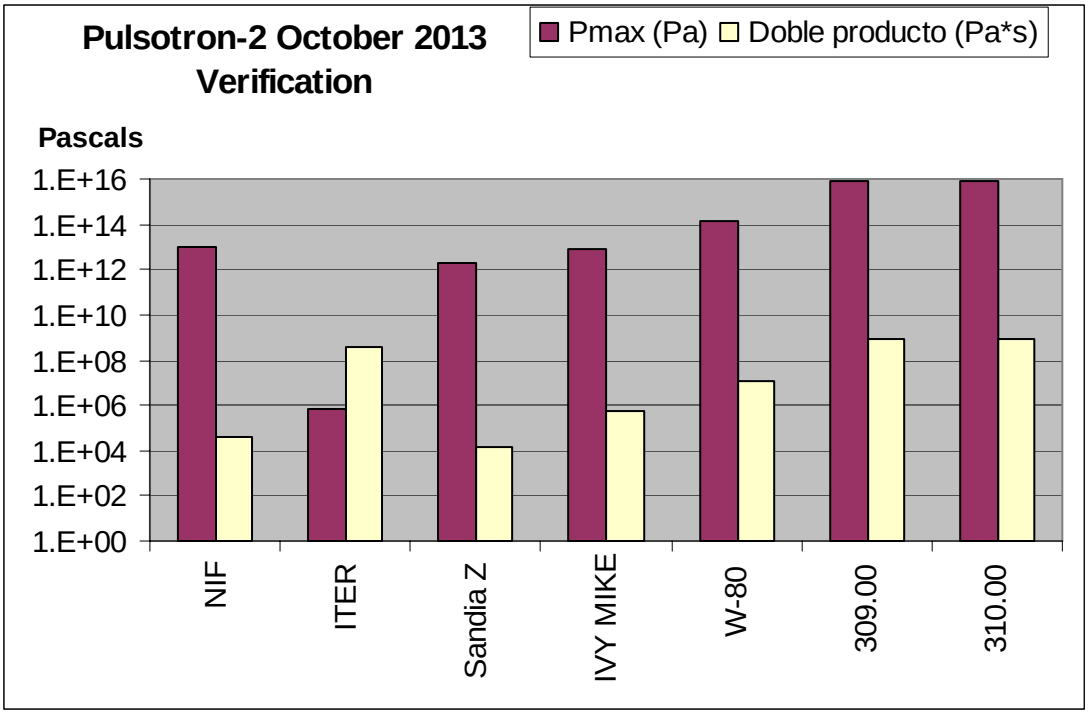
The result data of target shot number 309 is 8.18e15 pascals:

			Error
Pmax obtenida	Pa	8.18E+15	1.92%
Datos de presión de otros dispositivos			Mayor que
"Pmax" Sandia	Pa	1.00E+11	OK
"Pmax" NIF	Pa	5.00E+12	OK
"Pmax" ITER	Pa	7.00E+05	OK
"Pmax" IVY MIKE	Pa	7.30E+12	OK
"Pmax" W-80	Pa	1.40E+14	OK
			Error
PTmax obtenida	Pa*s	8.59E+08	1.92%
Datos de presión x tiempo de otros dispositivos			Mayor que
"PTmax" Sandia	Pa*s	7.00E+04	OK
"PTmax NIF"	Pa*s	2.10E+04	OK
"PTmax" ITER	Pa*s	2.80E+08	OK
"PTmax" IVY MIKE	Pa*s	5.84E+05	OK
"PTmax" W-80	Pa*s	1.12E+07	OK

It was very similar to target shot number 310 that was 7.75e15 pascals:

			Error
Pmax obtenida	Pa	7.74E+15	4.61%
Datos de presión de otros dispositivos			Mayor que
"Pmax" Sandia	Pa	1.00E+11	OK
"Pmax" NIF	Pa	5.00E+12	OK
"Pmax" ITER	Pa	7.00E+05	OK
"Pmax" IVY MIKE	Pa	7.30E+12	OK
"Pmax" W-80	Pa	1.40E+14	OK
			Error
PTmax obtenida	Pa*s	9.29E+08	4.61%
Datos de presión x tiempo de otros dispositivos			Mayor que
"PTmax" Sandia	Pa*s	7.00E+04	OK
"PTmax NIF"	Pa*s	2.10E+04	OK
"PTmax" ITER	Pa*s	2.80E+08	OK
"PTmax" IVY MIKE	Pa*s	5.84E+05	OK
"PTmax" W-80	Pa*s	1.12E+07	OK

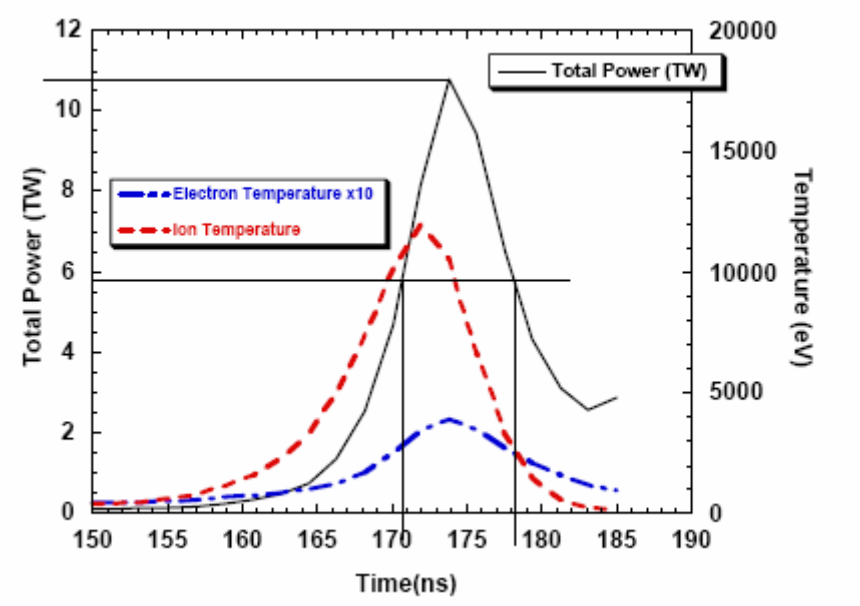
Here is the verification data obtained in Pulsotron - 2 tests numbers 309 and 310 compared with other existing or building fusion machines:



OTHER FUSION MACHINES RESULT

Using available information on papers or articles written in Internet, the following data on the other machines was obtained:

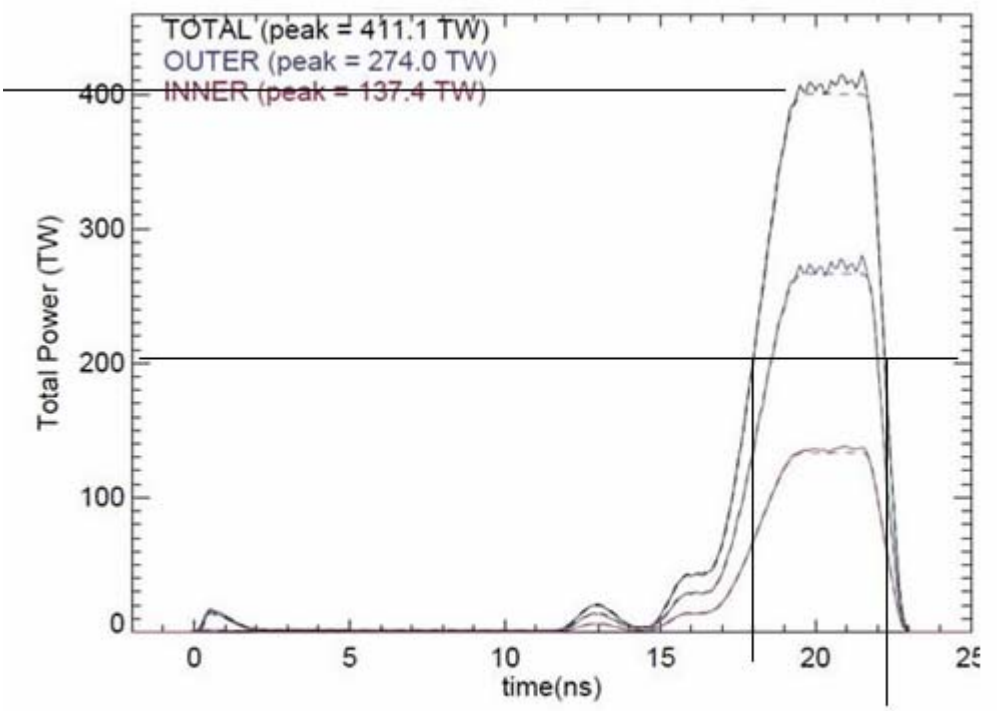
Sandia Z: This machine is the best documented one, see reference [1]
Pag 4: pressure 5-100MBar: that is 1E+11 pascals in S.I.
Pag 13: time=7ns:



Then PTmax=1E+13*7E-09=7E+04 Pascals x second

NIF see reference [2]: NIF Project Status – 2012

Time: 4.2ns

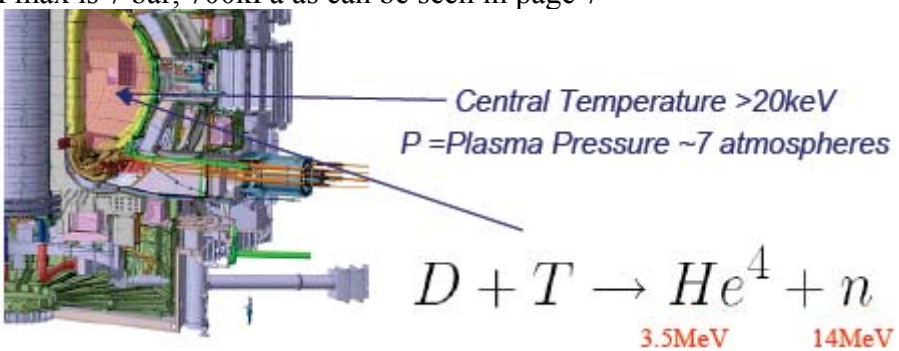


Power/time history of the March 15 1.8-MJ shot, both delivered (solid) and required (dashed) for inner and outer cone beams and the total (192 beams).

Pressure: See reference [3]:
http://en.wikipedia.org/wiki/National_Ignition_Facility 50 Mbar

50 Mbar =50 x 1E+11 = 50E+11Pascals
PTmax=50E+11 * 4.2ns = 21000 Pascals x second

ITER See reference [4]: The only one article found is not signed and has not name:
http://www.psfc.mit.edu/library1/catalog/online_pubs/iap/iap2011/cowley.pdf
Accordingly first page, the confinement time is 400 seconds
Pmax is 7 bar, 700kPa as can be seen in page 7



Por tanto Presion = 7 x 1E+05 = 7E+05 Pa
PTmax=7E+05*400 = 2.8E+08 Pascales x segundo

IVY MIKE and W-80 warheads, see reference [5]:

Thermonuclear weapon http://en.wikipedia.org/wiki/Thermonuclear_weapon

Mechanism	Pressure (TPa)	
	Ivy Mike	W80
radiation pressure	7.3	140
plasma pressure	35	750
ablation pressure	530	6400

The initial radiation pressure at IVY MIKE was 7.3E+12 and W80 was 140E+12 pascals
Accordingly reference [6] maximum time was 80 nanoseconds, accordingly 4.4.3.5 Ignition, then multiplying the given pressure results we obtain:

PTmax of IVY Mike = 7.3E+12 * 80ns =5.84E+05 Pa * s
PTmax of W-80 = 1.4E+14 * 80ns =1.12E+07 Pa * s

The verification documents can be shown on request.

REFERENCES

[1]_ High Energy Density Physics: Z-pinches and Pulsed Power
Dr. Christopher Deeney, Sandia National Laboratories, 2011

[2] NIF Project Status – 2012

[3] http://en.wikipedia.org/wiki/National_Ignition_Facility

[4] The only one article found is not signed and has not name:
http://www.psfc.mit.edu/library1/catalog/online_pubs/iap/iap2011/cowley.pdf

[5] Thermonuclear weapon
http://en.wikipedia.org/wiki/Thermonuclear_weapon

[6] The Nuclear Weapons Archive, Elements of Thermonuclear Weapon Design *2005*
http://nuclearweaponarchive.org/Nwfaq/Nfaq4-4.html

[7] Pulsotron-2 verification

INFORME DE ENSAYOS

Número 13/34534001

LGAI Technological Center, S.A.

Applus+
Metrología

Campus UAB
08193 Bellaterra
T +34 93 567 20 50
F +34 93 567 20 01
metrologia@appluscorp.com
www.applus.com

PETICIONARIO:

PROYECTO PULSOTRON
Av. Juan López Peñalver, 17
Parque Tecnológico de Andalucía.
29590 - MÁLAGA

ENSAYO:

Medida de la corriente máxima y campo magnético máximo al producirse la descarga en el equipo

IDENTIFICACION INSTRUMENTO:

PULSOTRON 2
Target: 2236

FECHAS DE ENSAYO:

21-10-2013

SIGNATARIO/S AUTORIZADO/S:

Responsable Técnico

Técnico

Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito de Applus.
Los resultados que se indican se refieren únicamente al objeto sometido a examen, en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El banco de condensadores del PULSOTRON 2 se carga a una tensión determinada. Una vez alcanzada se provoca la descarga a través de un conductor cilíndrico registrándola con un osciloscopio con un ancho de banda superior a 100 MHz y con al menos 500 kmuestras de profundidad de memoria con una incertidumbre de medida de 0,5% en tensión y de 0,2% en tiempo.
La corriente máxima se establece en base a la corriente de descarga del banco de condensadores:

$I_{MAX} = C\ dV/dt$

Donde la variación de la tensión, dV/dt, se determina en los primeros 200 ms de la descarga calculándola como $(V_1 – V_2)/t_{MAX}$ siendo t_{MAX} el tiempo máximo de descarga.

Por otra parte la corriente media durante la descarga se estable de la misma forma pero midiendo la variación de tensión en el tiempo de determinado por la detección del pico de descarga detectado por un fotodiodo.

$I_{MEDIA} = C\ (V_1 – V_3)/t_{MED}$

El campo magnético máximo en la superficie del conductor es:

$B_{MAX} = \mu_0\ I_{MAX}/\ 2\ \pi\ r\ ;\quad B_{MED} = \mu_0\ I_{MED}/\ 2\ \pi\ r$

La presión magnética sera:

$P_{MAX} = B_{MAX}^2/2\mu_0\ \ ;\quad P_{MED} = B_{MED}^2/2\mu_0$

Y la presión por tiempo:

$PT_{MAX} = P_{MAX}\ t_{MAX}\ \ ;\ PT_{MED} = P_{MED}\ t_{MED}$

SEGURIDAD

El banco de condensadores del PULSOTRON 2 no presenta ningún riesgo cuando no está conectado siempre que se asegure que los condensadores no están cargados.
En el momento de ensayo ha de mantenerse una distancia de seguridad utilizar protección auditiva y ocular no presentándose ningún problema de seguridad adicional.

Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito de Applus.
Los resultados que se indican se refieren únicamente al objeto sometido a examen, en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones.

CONDICIONES DE ENSAYO

Temperatura ambiente: 23 ± 2 ºC
Humedad relativa: 50 ± 20 %hr

TRAZABILIDAD

La trazabilidad de las medidas esta referida al NKO (EURAMET; ES).

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre asociada a la calibración a los valores indicados en las tablas de resultados ha sido obtenida teniendo en cuenta todas las contribuciones que afectan a la medida, incluyendo aquellos debidos a la resolución y a la estabilidad a corto plazo del instrumento calibrado.
La incertidumbre asociada a la calibración se ha estimado como una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura k=2, correspondiente a una probabilidad de cobertura del 95%. Los cálculos se han realizado según la publicación de EA con referencia EA-4/02.

RESULTADO DE ENSAYO

Ensayo 1

Resultados

I_{MAX}	1,79 10^7 A
B_{MAX}	1,43 10^5 T
P_{MAX}	8,15 10^{15} Pa
PT_{MAX}	8,59 10^8 Pa s

Incertidumbre: 2% /k=2)

Ensayo 2

Resultados

I_{MAX}	1,74 10^7 A
B_{MAX}	1,39 10^5 T
P_{MAX}	7,74 10^{15} Pa
PT_{MAX}	9,29 10^8 Pa s

Incertidumbre: 2% /k=2)

Este certificado no podrá ser reproducido parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito de Applus.
Los resultados que se indican se refieren únicamente al objeto sometido a examen, en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones.