

## PROYECTO DE UN AUTOBÚS URBANO ELÉCTRICO PARA EL TRANSPORTE DE PASAJEROS

Autores: (\*) Sacco, Juan – Blanco, Alberto R. – Vucetich, Danilo A. – Pierre Castell Andrea V. -  
Matera, Román – Bellomo Sebastián.

Lugar de ejecución: UID-GETVA- Departamento de Mecánica-F.I – UNLP. Calle 116 y 48 – 4236692-  
int.164 – [getva@ing.unlp.edu.ar](mailto:getva@ing.unlp.edu.ar)

### INTRODUCCIÓN

Se estimó que en los próximos años habrá más de 1.000 millones de vehículos en el mundo. Si todos estos vehículos fuesen equipados con motores de combustión interna convencionales, los niveles de contaminación, en las condiciones actuales, serán inaceptables para el planeta. Basado en esto, han surgido en todo el mundo legislaciones que promueven, hasta exigen, el uso de “vehículos de emisión cero” (VECs) o no contaminantes. La única tecnología disponible, probada, para producir VECs es la de **vehículos eléctricos (VEs)**. Debido a esto se estimó que en los próximos años habría en el mercado mundial millones de VEs. Actualmente, los vehículos eléctricos puros (VEPs) (los que no poseen generador a bordo) tienen grandes limitaciones: la baja densidad de energía de las baterías, alto costo y la imposibilidad de recarga rápida de las mismas, lo que limita la autonomía de los VEPs. Este problema ha dado lugar a varias alternativas de **Vehículos Eléctricos (VEs)**. El objetivo de nuestra propuesta fue desarrollar la tecnología y las partes necesarias para, integrar un **prototipo experimental de VE** para transporte urbano de pasajeros.

La Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA), definida a través del artículo 3° del Decreto N° 656/94, constituye un complejo jurisdiccional compuesto por la Ciudad de Buenos Aires y 42 Partidos de la Provincia de Buenos Aires que la circundan. Con una población que supera los trece millones de habitantes, se destaca como una de las mayores áreas urbanas de América Latina, siendo el centro de la actividad administrativa, económica, industrial y social de la Argentina y concentrando más de la tercera parte de la población del país (37%).

### El transporte público urbano de pasajeros en la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA)

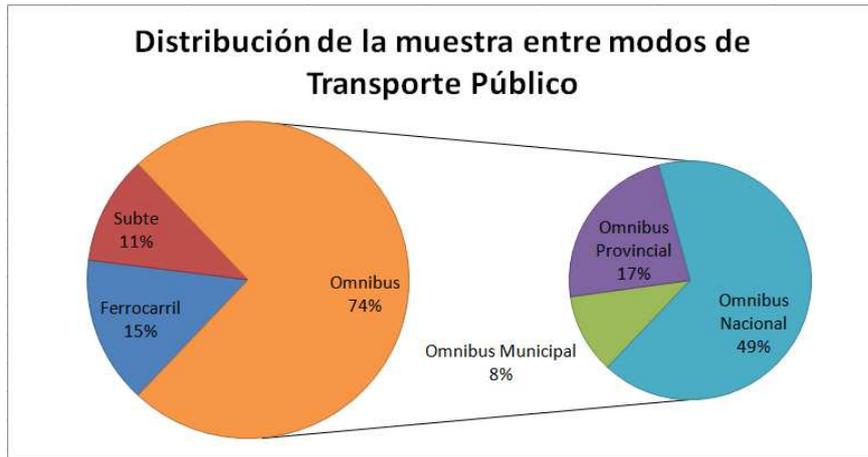
Los vehículos de transporte automotor urbano de pasajeros que circulan por la RMBA, son en su totalidad ómnibus impulsados por motores diesel de Norma Euro III. En la Investigación del Transporte Urbano Público de Buenos Aires (INTRUPUBA), realizada por la Secretaría de Transporte de la Nación entre el año 2006 y 2007, se obtuvieron los siguientes resultados en lo que respecta a la cantidad relativa de viajes realizados por modos. Véase el siguiente gráfico:

Ómnibus Nacionales: Son aquellos que circulan dentro de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y aquellos que ingresan a ella desde la Provincia de Buenos Aires.

Ómnibus Provinciales: Son aquellos que circulan entre municipios del RMBA pero que no ingresan a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Ómnibus Municipales: Son aquellos que circulan dentro de cada municipio.

Los vehículos de transporte automotor urbano de pasajeros que circulan por la Región Metropolitana de Buenos Aires, son en su totalidad ómnibus impulsados por motores diesel de Norma Euro III.



## DESARROLLO

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata a través de la UID-G.E.T.V.A., del Departamento de Mecánica; debió definir el desarrollo del proyecto propuesto teniendo en cuenta las siguientes premisas: a) Estudiar la posibilidad de proyectar un VE (Vehículo Eléctrico) para el transporte público de pasajeros, tomando como base el ECOBUS, actualmente operando, desarrollado por la UID-GETVA, como híbrido eléctrico (uso racional de la energía y disminución de la contaminación ambiental). b) Usar tecnología de punta, competitiva a nivel internacional. c) Emplear tecnología propia, adecuada a las necesidades y posibilidades locales. d) Ser dueña de la mayor parte posible del Know How necesario. e) Tener recursos humanos propios de excelencia.

### Vehículos eléctricos

- El vehículo eléctrico es de “cero emisiones”.
- La energía eléctrica que consume puede ser generada a partir de recursos renovables.
- Hace un uso mas eficiente de la energía.
- El suministro de la energía eléctrica necesaria se obtiene a precios más ventajosos y más estables en el tiempo.

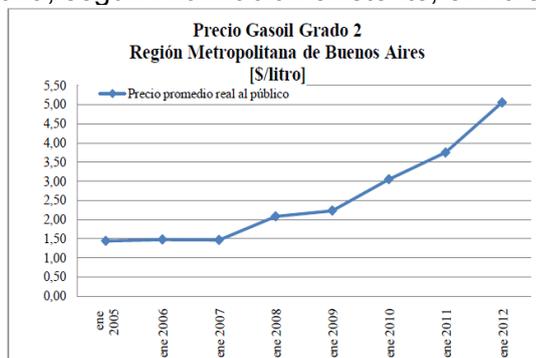
La energía eléctrica está caracterizada por tener precios cuya tasa de incremento en los costos es menor que la de los combustibles fósiles, ya que puede ser generada con usinas térmicas, eólicas, solares, hidráulicas, atómicas, etc.

### Evolución del precio del gasoil.

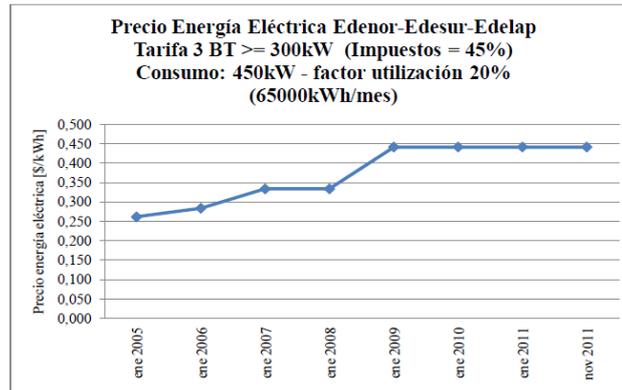
En Estados Unidos en los últimos 12 años:

- El precio del gasoil aumentó 190%,
- El precio del GNC aumentó 123%.
- El precio de la energía eléctrica aumentó 49%.

En la Argentina, según información existente, el incremento del precio del gasoil es el siguiente:



Aumentó un 250% en 7 años.



El precio de la energía eléctrica para grandes consumidores en la Región Metropolitana aumentó 67%.

Si analizamos el transporte urbano vemos que el vehículo de uso más intensivo y pesado es el que corresponde al ómnibus urbano:

- Las líneas urbanas tienen un recorrido completo por cada vuelta de 10 a 35 km en general.
- El ómnibus efectúa paradas programadas cada 200 ó 400m para bajar y subir pasajeros.
- El mismo recorrido se cumple todo el día en forma repetitiva.
- Al llegar el ómnibus a la terminal de cada línea, el vehículo para durante 10/15 minutos para cubrir las necesidades del conductor.
- La velocidad promedio varía de 14 km/h hasta 25 km/h en general, salvo casos particulares.

Por lo tanto, el uso del ómnibus es perfectamente sistematizable.

### **Construcción del ómnibus**

- La construcción debe ser integral, autoportante de fibra de vidrio, orientado, de alta resistencia, reforzado en los puntos críticos con fibra de carbono, no inflamable. Vida útil esperada de 18 años.

También podemos construirlo con materiales más livianos.

En forma general, se puede afirmar que 50 kg de sobrepeso en el vehículo pueden suponer una pérdida de potencia de 100 W. Utilizar motor eléctrico / generador de última generación, de flujo axial, con imanes permanentes, muy livianos, y rendimiento del 95%. También los controladores eléctricos deben ser de última generación.

- Utilizar baterías de ión-litio de última generación que duran 20 años con 15.000 a 20.000 ciclos de carga y descarga completa, más liviana, con electrodos formados por nanopartículas de litio-óxido de titanio. La carga completa de la batería, de 0 a 100%, se realiza en sólo 8 a 10 minutos.
- La importancia de la recuperación de la energía cinética de frenado es muy grande en un ciclo urbano donde aproximadamente un 60% de la energía total se invierte en superar los efectos de inercia de la masa total del vehículo (peso del vehículo en orden de marcha más los pasajeros) y teóricamente durante la desaceleración se puede recuperar un porcentaje del orden del 94% si utilizamos los motores eléctricos / generadores y baterías de ión-litio de última generación como los ya mencionados.

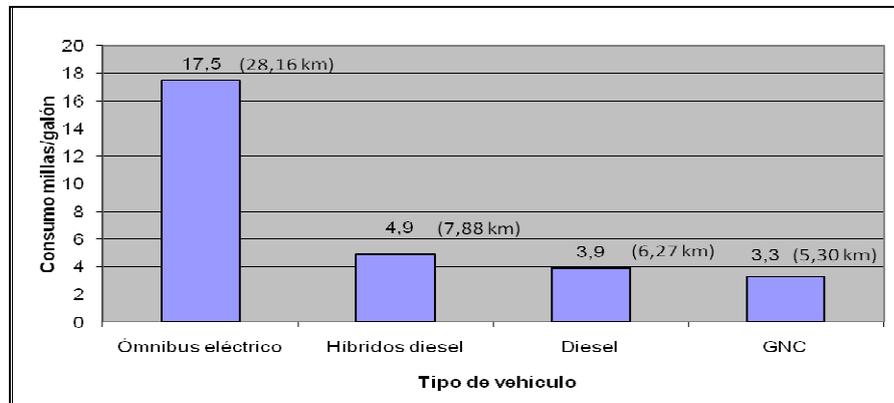
- El ómnibus eléctrico debe ser equipado con el tamaño óptimo del sistema de almacenaje de energía eléctrica mediante baterías ajustado a las líneas urbanas, previendo un recorrido de 50 km.
- Se elimina totalmente el motor de combustión interna y sus elementos periféricos, el combustible líquido o gaseoso, y las emisiones de gases de escape.

Veamos ensayos efectuados en Estados Unidos con un ómnibus eléctrico equipado con elementos de última generación, para 37 pasajeros sentados + 31 pasajeros parados (total 68 pasajeros) y una longitud total de 10,5 metros; comparado con los convencionales y un híbrido, donde se muestran los consumos de combustible en cada uno.

**Consumo de gasoil en millas/galón equivalente**

En Estados Unidos, Federal Transit Administration's exige sobre cada prototipo de ómnibus realizar y aprobar el "Altoona Testing Cycle" antes de poder iniciar la producción en serie. A continuación se muestran los datos obtenidos del Bus Testing Program, "Altoona Testing Cycle", operado por "Pensylvania Transportation Institute", dependiente de "Pensylvania State University" para su validación en el año 2009.

Tipo de vehículo	Consumo millas/galón	Equivalencias	Consumo litros/100 km
Ómnibus eléctrico	17,5	1 milla = 1,609 km	13,44
Híbridos diesel	4,9		48,04
Diesel	3,9	1 galón = 3,7854 litros	60,37
GNC	3,3		71,42



En el caso de nuestro proyecto, se contemplaría para la unidad, una operación similar a otras ya probadas.

La energía consumida de las baterías se recarga automáticamente al estacionar en el andén correspondiente en la terminal del recorrido durante los 10/15 minutos de descanso del conductor.

En realidad, se completan las baterías teniendo en cuenta la energía empleada en vencer las resistencias de rodadura, pendientes, fuerza del viento y parte de la energía cinética no recuperada.

Si el recorrido es mayor que 35 km se coloca un sistema de carga aérea en la parada en la que está detenido el ómnibus. Carga sus baterías en forma súper-rápida automáticamente.

**Características principales de diseño**

- Velocidad máxima: 60Km/h
- Autonomía: >30km
- Carrocería: Piso bajo ó low floor
- Eje delantero: Con dirección, para piso bajo, neumáticos simples
- Eje trasero: Con diferencial, neumáticos duales.
- Suspensión: Neumática

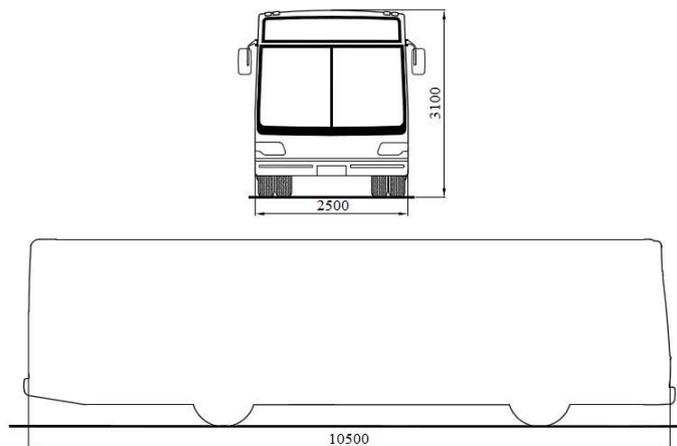
**Costos de la energía de tracción en el neumático**

Tipo	unidad	Costo unitario [\$/unidad]	Energía unitaria [kWh/unidad]	Rendimiento aproximado	Precio de la energía en el neumático [\$/kWh]
Ómnibus diesel	litro	5,06	10,08	0,20	2,51
Ómnibus eléctrico	kWh	0,45	1	0,80	0,56

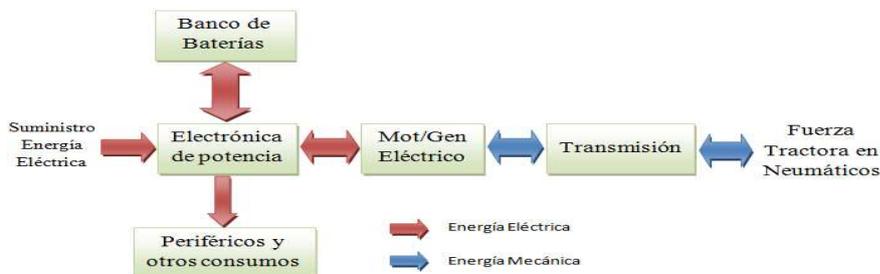
Considerando un rendimiento global del “combustible” al neumático:

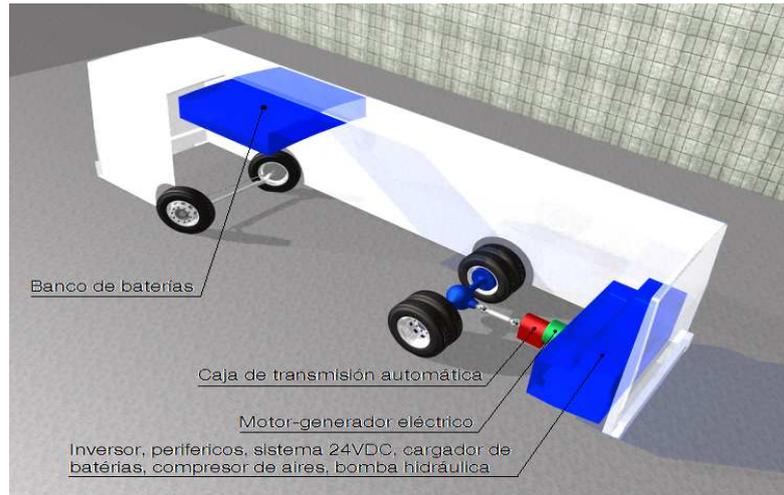
- Ómnibus diesel: 20%
- Ómnibus eléctrico: 80%

**Dimensiones generales del ómnibus**



**Esquema general del sistema de propulsión electrico**





### Características adoptadas para el vehículo

- Peso total, tres variantes:
  - 1: 11400kg (20 pasajeros aprox.)
  - 2: 14900kg (70 pasajeros aprox.)
  - 3: 17325kg (máximo permitido según los ejes y suspensión)
- Coeficiente aerodinámico al avance: 0.88
- Área frontal: 7.1 m<sup>2</sup>
- Coeficiente de rodadura: 0.012

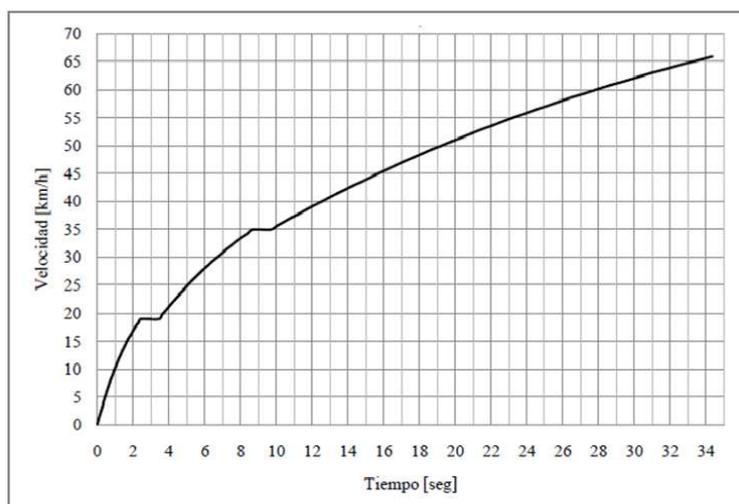
### Requerimiento de energía para el transporte de un ómnibus urbano en ciclos de manejo

Fuerza impulsora:

- Fuerza de tracción en neumáticos

Fuerzas resistentes:

- Resistencia aerodinámica al avance
  - Resistencia a la rodadura en neumáticos
  - Fuerza de inercia durante la aceleración (  $E_c$  )
- Aceleración del ómnibus de mayor peso (17325 kg)



### Rendimiento Global

Indica la proporción de energía que se destina para la propulsión del vehículo en relación a la energía suministrada al mismo.

$$\text{Rendimiento global} = \frac{\text{Energía consumida en propulsión}}{\text{Energía total consumida}}$$

**Ómnibus eléctrico**

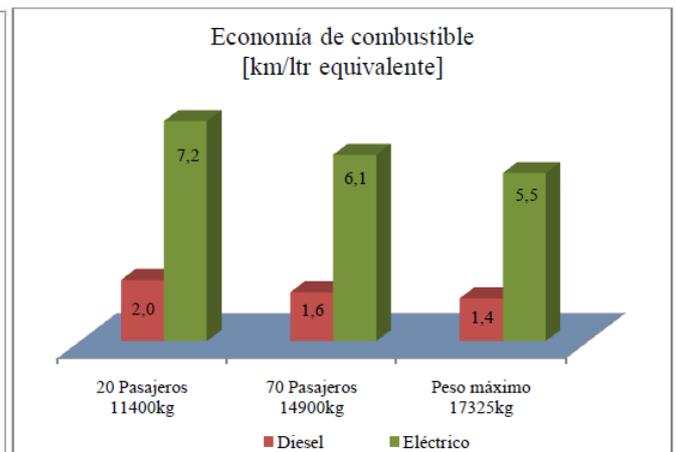
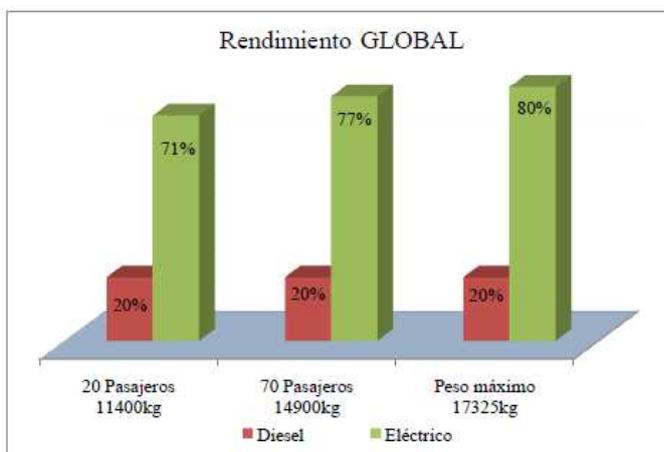
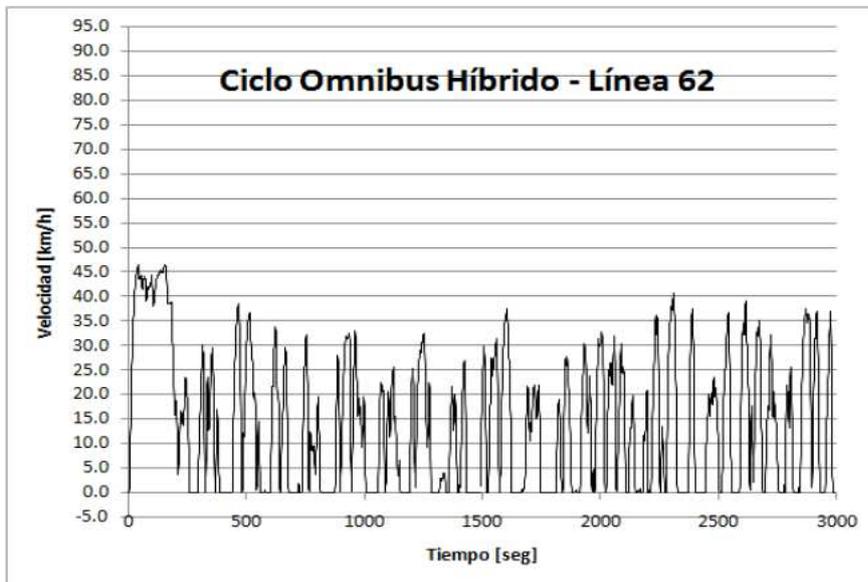
Se pretende:

- Calcular el rendimiento global del sistema.
- Calcular el consumo equivalente de combustible

Consideraciones:

- Se calcularon los consumos de los sistemas periféricos y demás consumos del ómnibus.
- Se consideró el consumo de energía eléctrica en la entrada de la estación de recarga, desde la red

**Características de los ciclos de manejo del ECOBUS –VHE-GETVA. FI. UNLP**



**Costos insumos energéticos****Ómnibus diesel**

- Precio gasoil, enero 2012: 5,10 \$/litro
- Consumo plena carga: 0,60 litros/km
- Costo de combustible: 3,06 \$/km

**Ómnibus eléctrico**

- Precio energía eléctrica, enero 2012: 0,45 \$/kWh
- Consumo plena carga: 1,85 kWh/km
- Costo de combustible: 0,83 \$/km

**CONCLUSIONES****Ómnibus de CERO EMISIONES**

- No tiene gases de escape.
- Es más silencioso que el ómnibus con MACI.
- Se eliminan los cambios de aceite del MACI.

**Eficiencia y costos en insumos**

- Rendimiento global : 71%,vacío; 80%, plena carga.
- Ahorro de combustible en el eléctrico, superior al 450% respecto al ómnibus diesel convencional.
- 368 % menos de costos, en insumos energéticos, que el ómnibus diesel convencional por km recorrido.

**Bibliografía**

- Fundamentals of Vehicles Dynamics, Thomas D. Gillespie, -SAE-1992
- Teoría de los Vehículos Automóviles, Francisco Aparicio Izquierdo-2001
- El Medio Ambiente y el Automóvil, José María Lopez Martinez- CIE-DOSSAT-2007
- Electrónica de Potencia, Uhammad Rashid – Pearson – 2004
- Normas : SP-2247: Control and Optimization in Hybrid Powertrains – SAE 2009
- Normas : SP-2175: Design Optimization Methods and Applications – SAE 2008
- Normas : SP-2233: Load Simulation and Analysis in Auomotive Engineering – SAE 2009
- Normas : SP-2218: Simulation of Commercial Vehicles – SAE 2008
- Advanced Vehicle Technology, Heinz Heisler – SAE – 2002
- Normas: IEC 60034-8 – 2007    IEC 60034-1 – 2004                    IEC 60034-2-1 – 2007